



Inês Lopes da Cunha Machado Ferreira

Compósitos de Polímeros com Borrás de Café

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Inês Lopes da Cunha Machado Ferreira

Compósitos de Polímeros com Borrás de Café

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Fernando Moura Duarte

Janeiro de 2020

DECLARAÇÃO

Nome: Inês Lopes da Cunha Machado Ferreira

Endereço eletrónico: a73308@alunos.uminho.pt

Cartão do Cidadão: 14905438

Título da dissertação: Compósitos de Polímeros com Borras de Café

Orientador:

Professor Doutor Fernando Moura Duarte

Ano de conclusão: 2020

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de várias pessoas. Com isto, gostaria de agradecer a todos os que, direta ou indiretamente, me ajudaram no desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço ao orientador desta dissertação, professor doutor Fernando Moura Duarte, pelo apoio e incentivo prestados ao longo deste processo. Ao engenheiro Hector Nunes pela cooperação e disponibilidade. A todos os técnicos do DEP, em especial ao Sr. João Paulo, que foi incansável perante as dificuldades que surgiram pelo caminho.

A todos os meus amigos, que durante este percurso académico me proporcionaram momentos de diversão, descontração e aprendizagem, que vão ficar na memória para a vida. Em especial à Ana Sousa, que apesar de longe, esteve sempre perto. Agradeço também, de forma especial, ao Luís Almeida, que me tirou mais dores de cabeça do que deu e esteve sempre do meu lado durante todas as adversidades e momentos mais complicados.

Por último, mas em primeiro lugar, agradeço à minha família. De forma muito especial aos meus pais, irmã e avós pela motivação e carinho que me deram incondicionalmente ao longo desta jornada.

Dedico esta dissertação aos meus avós Rui Cunha e Fernando Ferreira.

Resumo

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e engloba um enorme mercado mundial, gerando grandes quantidades de resíduos sólidos, borras de café (BC) ou *spent coffee grounds* (SCG). Estes resíduos, são constituídos por compostos orgânicos que fazem com que o seu reaproveitamento seja plausível e os valorize, tornando-os parte da cadeia da economia circular. Uma das possíveis utilizações consiste na produção de compósitos de matriz polimérica que serve de matéria-prima para a produção de diversos produtos, como por exemplo, chávenas ou óculos de sol. Estes produtos inovam pelo aspeto, textura e até cheiro, introduzindo as borras de café nas suas misturas de polímeros.

Esta dissertação tem como principal objetivo produzir compósitos de vários polímeros com borras de café com taxas de incorporação de 5% e 40%, usando um polímero ou mistura de dois polímeros, de modo a permitir, caso seja conseguida compatibilidade, mistura de propriedades. Utilizaram-se materiais amorfos que demonstraram, em trabalhos anteriores, ter alguma afinidade com o café, nomeadamente o polimetilmetacrilato ou acrílico (PMMA), o politereftalato de etileno glicolizado (PETg) e o acrilonitrila butadieno estireno (ABS), de modo a também avaliar o efeito da incorporação de borras de café como compatibilizador nas misturas imiscíveis. Foram também utilizados dois biopolímeros da *Nurel*, F29 HTR e F10 que apresentam boa compatibilidade com as borras de café. Foram preparadas, por extrusão, misturas de dois polímeros em percentagens de 25/75, 50/50 e 75/25 sem café. Posteriormente, introduziram-se as BC em percentagens de 5% e 40% nas misturas que aparentavam ter a pior e a melhor compatibilidade. Foram preparados provetes, por moldação por injeção, de todos os materiais individuais e de todas as misturas preparadas. Foram realizados ensaios de tração e de impacto, para todos os materiais, e ensaios de DSC aos materiais e misturas sem borras de café de modo a avaliar a potencial de compatibilidade. Os resultados mostram que as misturas de PMMA/PETg aparentam ter a pior compatibilidade, enquanto que as misturas dos biopolímeros F29 HTR/F10, parecem ter a melhor. Os resultados de tração e impacto mostraram que, tendencialmente, as misturas de polímeros apresentam um pior desempenho do que os polímeros individuais, havendo, no entanto, certas misturas onde essa tendência não se verifica. Observa-se ainda que, para uma taxa de incorporação de 5% de BC, certas propriedades mecânicas melhoram. Finalmente, foram realizados testes de resistência à degradação em água dos biopolímeros, observando-se que, com a introdução das borras de café, a absorção de água aumenta e consequentemente a tendência para a sua degradação.

Palavras-chave: borras de café, polímeros e biopolímeros, compósitos, resistência ao impacto, tração, degradação em água.

Abstract

Coffee is one of the most consumed beverages in the world and encompasses a huge world market, generating large amounts of solid waste, spent coffee grounds (SCG or BC). These residues are made up of organic compounds that make their reuse plausible and valuable, making them part of the circular economy chain. One of the possible uses is in the production of polymeric matrix composites that serve as raw material for the production of various products, such as cups or sunglasses. These products innovate by their appearance, texture and even smell, introducing coffee grounds into their polymer mixtures.

This dissertation has as main objective to produce composites of various polymers with spent coffee grounds with incorporation rates of 5% and 40%, using a polymer or mixture of two polymers, in order to allow, in case compatibility is achieved, a mixture of properties. Amorphous materials were used that demonstrated, in previous works, to have some affinity with coffee, namely polymethylmethacrylate or acrylic (PMMA), glycosylated polyethylene terephthalate (PETg) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS), in order to also evaluate the effect of incorporating coffee grounds as a compatibilizer in immiscible mixtures. Two Nurel biopolymers were also used, F29 HTR and F10, which have good compatibility with coffee grounds. Mixtures of two polymers in percentages of 25/75, 50/50 and 75/25 without coffee were prepared by extrusion. Subsequently, BC were introduced in percentages of 5% and 40% in mixtures that appeared to have the worst and the best compatibility. Test pieces were prepared by injection molding all individual materials and all prepared mixes. Tensile and impact tests were performed for all materials, and DSC tests on materials and mixtures without coffee grounds in order to assess the potential for compatibility. The results show that the PMMA/PETg mixtures appear to have the worst compatibility, while the mixture of biopolymers F29 HTR/F10, seem to have the best. The results of traction and impact showed that, tendency, the mixtures of polymers present a worse performance than the individual polymers, however, there are certain mixtures where this tendency does not occur. It is also observed that, for an incorporation rate of 5% of BC, certain mechanical properties improve. Finally, biopolymers resistance to water degradation tests were carried out, observing that, with the introduction of coffee grounds, water absorption increases and consequently the tendency for its degradation.

Keywords: spent coffee grounds, polymers and biopolymers, composites, impact resistance, tensile strength, water degradation.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xvii
Abreviaturas e Siglas.....	xix
Capítulo I – Introdução.....	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Organização da Dissertação.....	2
Capítulo II – Estado da Arte	3
2.1. Fundamentos Teóricos	3
2.2. Casos de Estudo.....	10
Capítulo III – Produção e Caracterização das Misturas.....	13
3.1. Materiais	13
3.2. Preparação das Composições.....	14
3.3. Preparação dos Corpos de Prova	15
3.4. Caracterização dos Materiais	16
3.4.1. Caracterização Mecânica.....	16
3.4.2. Caracterização Térmica.....	17
3.4.3. Teste de Resistência à Degradação em Água	17
Capítulo IV – Apresentação e Discussão de Resultados.....	19
4.1. Caracterização dos Materiais sem Café.....	19
4.1.1. Caracterização Mecânica.....	19
4.1.2. Caracterização Térmica.....	33
4.1.3. Teste de Resistência à Degradação em Água	38
4.2. Caracterização dos Materiais com Café.....	42
4.2.1. Caracterização Mecânica.....	42
4.2.2. Teste de Resistência à Degradação em Água	58
4.3. Caracterização Mecânica de Todos os Materiais.....	68
4.3.1. PMMA vs PETg.....	68

4.3.2. F29 vs F10	71
Capítulo V – Conclusões e Trabalhos Futuros	75
Capítulo VI – Bibliografia	79
ANEXOS.....	81
[Anexo A] Matéria Prima	81
[Anexo B] Equipamentos.....	83
[Anexo C] Dimensões e Massas	86
[Anexo D] Gráficos	95
[Anexo E] DSC	99

Lista de Figuras

Figura 1 – Planta do café. [38, 39].	3
Figura 2 – Potenciais usos para as borras de café. [1].	4
Figura 3 – Ciclo de vida dos materiais biodegradáveis. [37].	10
Figura 4 – Peças produzidas pela decafé, respetivamente, candeeiros, suportes de velas, taças decorativas e moldura de espelho.	11
Figura 5 – Peças produzidas pela Kaffeeform, respetivamente, chávenas de café e copos de café transportáveis.	11
Figura 6 – Peças produzidas pela Re-Worked, respetivamente, banco, cadeira de baloiço, cadeira e mesa de café.	12
Figura 7 – Barras esfoliantes produzidas pela Raise The Bar.	12
Figura 8 – Extrusora Leistritz.	14
Figura 9 – Injetora Engel.	15
Figura 10 – Provete de impacto e provete de tração, respetivamente.	16
Figura 11 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.	19
Figura 12 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.	20
Figura 13 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.	20
Figura 14 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.	21
Figura 15 – Curvas de tração do PMMA virgem, das misturas de 75% PMMA + 25% PETg, de 50% PMMA + 50% PETg e de 25% PMMA + 75% PETg e do PETg virgem, respetivamente.	22
Figura 16 – Curvas de tração do PMMA virgem, das misturas de 75% PMMA + 25% ABS, de 50% PMMA + 50% ABS e de 25% PMMA + 75% ABS e do ABS virgem, respetivamente.	23
Figura 17 – Curvas de tração do PETg virgem, das misturas de 75% PETg + 25% ABS, de 50% PETg + 50% ABS e de 25% PETg + 75% ABS e do ABS virgem, respetivamente.	24
Figura 18 – Curvas de tração do F29 virgem, das misturas de 75% F29 + 25% F10, de 50% F29 + 50% F10 e de 25% F29 + 75% F10 e do F10 virgem, respetivamente.	25
Figura 19 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.	27
Figura 20 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.	27
Figura 21 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.	28
Figura 22 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.	28

Figura 23 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.	29
Figura 24 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.	29
Figura 25 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.	30
Figura 26 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.	30
Figura 27 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.	31
Figura 28 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.	32
Figura 29 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.	32
Figura 30 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.	33
Figura 31 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do PMMA, do PETg e das suas misturas.	34
Figura 32 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do PMMA, do ABS e das suas misturas.	35
Figura 33 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do PETg, do ABS e das suas misturas.	36
Figura 34 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do F29, do F10 e das suas misturas.	37
Figura 35 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P1 de F29 e F10 e das suas misturas.	38
Figura 36 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P2 de F29 e F10 e das suas misturas.	39
Figura 37 – Fotografias das amostras dos compósitos de F29 virgem, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.	39
Figura 38 – Fotografias das amostras dos compósitos de 75% F29 + 25% F10, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.	40
Figura 39 – Fotografias das amostras dos compósitos de 50% F29 + 50% F10, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.	41
Figura 40 – Fotografias das amostras dos compósitos de 25% F29 + 75% F10, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.	41

Figura 41 – Fotografias das amostras dos compósitos de F10 virgem, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	42
Figura 42 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 5% café.....	43
Figura 43 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 40% café.....	43
Figura 44 – Variação média de resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de misturas de F29 e F10 com 5% café.....	44
Figura 45 – Variação da média de resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de misturas de F29 e F10 com 40% café.....	44
Figura 46 – Curvas de tração do PMMA com 5% café, das misturas de 71,25% PMMA + 23,75% PETg + 5% café, de 47,5% PMMA + 47,5% PETg + 5% café e de 23,75% PMMA + 71,25% PETg + 5% café e do PETg com 5% café, respetivamente.....	46
Figura 47 – Curvas de tração do PMMA com 40% café, das misturas de 45% PMMA + 15% PETg + 40% café, de 30% PMMA + 30% PETg + 40% café e de 15% PMMA + 45% PETg + 40% café e do PETg com 40% café, respetivamente.....	47
Figura 48 – Curvas de tração do F29 com 5% café, das misturas de 71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café, de 47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café e de 23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café e do F10 com 5% café, respetivamente.....	48
Figura 49 – Curvas de tração do F29 com 40% café, das misturas de 45% F29 + 15% F10 + 40% café, de 30% F29 + 30% F10 + 40% café e de 15% F29 + 45% F10 + 40% café e do F10 com 40% café, respetivamente.....	49
Figura 50 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 5% de café.....	51
Figura 51 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 40% de café.....	51
Figura 52 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 5% de café.....	52
Figura 53 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 40% de café.....	52
Figura 54 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 5% café.....	53
Figura 55 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 40% café.....	54

Figura 56 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 5% café.....	54
Figura 57 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 40% café.....	55
Figura 58 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 5% café.....	56
Figura 59 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 40% café.....	56
Figura 60 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 5% café.....	57
Figura 61 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 40% café.....	57
Figura 62 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P1 de F29 e F10 e das suas misturas com 5% de café.....	58
Figura 63 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P2 de F29 e F10 e das suas misturas com 5% de café.....	59
Figura 64 – Fotografias das amostras dos compósitos de 95% F29 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	60
Figura 65 – Fotografias das amostras dos compósitos de 71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	60
Figura 66 – Fotografias das amostras dos compósitos de 47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	61
Figura 67 – Fotografias das amostras dos compósitos de 23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	62
Figura 68 – Fotografias das amostras dos compósitos de 95% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	62
Figura 69 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P1 de F29 e F10 e das suas misturas com 40% de café.....	64
Figura 70 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P2 de F29 e F10 e das suas misturas com 40% de café.....	64
Figura 71 – Fotografias das amostras dos compósitos de 60% F29 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	65

Figura 72 – Fotografias das amostras dos compósitos de 45% F29 + 15% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	66
Figura 73 – Fotografias das amostras dos compósitos de 30% F29 + 30% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	66
Figura 74 – Fotografias das amostras dos compósitos de 15% F29 + 45% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.....	67
Figura 75 – Fotografias das amostras dos compósitos de 60% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.	68
Figura 76 – Variação média geral da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.....	69
Figura 77 – Variação média geral da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.....	69
Figura 78 – Variação média geral do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.....	70
Figura 79 – Variação média geral da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.	71
Figura 80 – Variação média geral da resistência ao impacto, em J/m ² , dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.....	72
Figura 81 – Variação média geral da tensão de rotura, em MPa, dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.	72
Figura 82 – Variação média geral do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.....	73
Figura 83 – Variação média geral da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.....	74
Figura 84 – Estufas.	83
Figura 85 – Moinho.	83
Figura 86 – Máquina de cortar entalhes e paquímetro, respetivamente.....	84
Figura 87 – Equipamentos de impacto e de tração, respetivamente.....	84
Figura 88 – Equipamento de DSC.	85
Figura 89 – Valores individuais de resistência ao impacto, em J/m ² , dos 170 provetes ensaiados, sem café.	95
Figura 90 – Valores individuais de resistência ao impacto, em J/m ² , dos 200 provetes ensaiados, com café.	95
Figura 91 – Valores individuais de tensão máxima, em MPa, dos 170 provetes ensaiados, sem café.	96
Figura 92 – Valores individuais de tensão máxima, em MPa, dos 200 provetes ensaiados, com café.	96

Figura 93 – Valores individuais do módulo de elasticidade, em MPa, dos 170 provetes ensaiados, sem café.....	97
Figura 94 – Valores individuais do módulo de elasticidade, em MPa, dos 200 provetes ensaiados, com café.	97
Figura 95 – Valores individuais da deformação à rotura, em percentagem, dos 170 provetes ensaiados, sem café.	98
Figura 96 – Valores individuais da deformação à rotura, em percentagem, dos 200 provetes ensaiados, com café.	98
Figura 97 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do PMMA, do PET e das suas misturas.	99
Figura 98 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do PMMA, do PET e das suas misturas.	99
Figura 99 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do PMMA, do ABS e das suas misturas.....	100
Figura 100 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do PMMA, do ABS e das suas misturas.....	100
Figura 101 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do PET, do ABS e das suas misturas.....	100
Figura 102 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do PET, do ABS e das suas misturas.....	100
Figura 103 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do F29, do F10 e das suas misturas.....	100
Figura 104 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do F29, do F10 e das suas misturas.	100

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Massas inicial e final, em gramas, e variação da massa, em percentagem, das amostras P1 e P2 de F29 e F10 e das suas misturas, sem café.	38
Tabela 2 – Massas inicial e final, em gramas, e variação da massa, em percentagem, das amostras P1 e P2 de F29 e F10 e das suas misturas, com 5% de café.	58
Tabela 3 – Massas inicial e final, em gramas, e variação da massa, em percentagem, das amostras P1 e P2 de F29 e F10 e das suas misturas, com 40% de café.	63
Tabela 4 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.	86
Tabela 5 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.	86
Tabela 6 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.	87
Tabela 7 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.	87
Tabela 8 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.	88
Tabela 9 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.	88
Tabela 10 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.	89
Tabela 11 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.	89
Tabela 12 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas, para os ensaios de tração.	90
Tabela 13 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de tração.	90
Tabela 14 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de tração.	91
Tabela 15 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas, para os ensaios de tração.	91

Tabela 16 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de tração.....	92
Tabela 17 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de tração.....	92
Tabela 18 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de tração.	93
Tabela 19 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m ² , dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de tração.	93
Tabela 20 – Valores da massa, em mg, das amostras utilizadas para os ensaios de DSC.	94

Abreviaturas e Siglas

BC	Borras de Café
SCG	<i>Spent Coffee Grounds</i>
PMMA	Polimetilmetacrilato ou Acrílico
PETg	Politereftalato de Etileno glicolizado
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
POM	Polióxido de Metileno ou Acetal
PVC	Policloreto de Vinila
DEP	Departamento de Engenharia de Polímeros
T_g	Temperatura de transição vítrea
$\sigma_{\text{máx}}$	Tensão máxima à tração
E	Módulo de Young/ módulo de elasticidade
ε	Deformação à rotura
DSC	Calorimetria Diferencial de Varrimento

Capítulo I – Introdução

O café é uma das bebidas mais populares do mundo e está diretamente ligada à tradição, visto que tem grande influência cultural e social. O café é cultivado em cerca de 80 países do mundo e engloba um enorme mercado mundial, sendo que é a segunda maior mercadoria negociada, a seguir ao petróleo. O consumo de café tem aumentado continuamente, gerando enormes quantidades de resíduos sólidos, borras de café (BC) ou *spent coffee grounds* (SCG), que contêm grandes porções de compostos orgânicos, nomeadamente, ácidos gordos, aminoácidos, polifenóis, minerais e polissacarídeos, que justificam a sua valorização. Assim, os resíduos de café ganharam interesse entre a comunidade científica, pois são vistos como fontes de recuperação de compostos, que lhes acrescentam valor. A reciclagem dos SCG faz com que estes não sejam considerados “lixo”, mas sim com que sejam utilizados para novas aplicações e façam parte da cadeia da economia circular. As aplicações biotecnológicas no campo industrial de manutenção de resíduos, promovem o desenvolvimento sustentável da economia dos países, sendo que há uma necessidade urgente de ideias práticas e inovadoras para o uso destes SCG de baixo custo e exploração de todo o potencial de aumento da sustentabilidade global da indústria do café. [1,2,3]

A obtenção de compósitos de polímeros com SCG de modo a desenvolver novas matérias-primas para a produção de novos produtos é uma das alternativas da reutilização e valorização dos SCG. Neste contexto, o uso de materiais de engenharia com temperaturas de processamento máximo em torno dos 200°C, de modo a não alterar significativamente as propriedades das borras de café, constitui uma solução que pode acrescentar mais-valia aos compósitos produzidos. A mistura de matrizes poliméricas, de modo a obter novas combinações de propriedades ou a utilização de matrizes termoplásticas biodegradáveis, são alternativas adicionais para potenciar o uso de materiais compósitos com SCG. Apesar do grande interesse da mistura de polímeros, muito poucas combinações de polímeros são miscíveis. De facto, se dois polímeros não forem miscíveis, não há uma única fase e a mistura não tem uma matriz homogénea. [4]

Assim, com o intuito de misturar dois polímeros imiscíveis e simultaneamente minimizar o impacto ambiental causado, neste trabalho estuda-se a introdução de SCG em matrizes poliméricas nas quais existe alguma compatibilidade (avaliada em trabalhos anteriores) e se funcionam como compatibilizador e no desenvolvimento de compósitos de polímeros.

1.1. Objetivos

Com este trabalho pretende-se desenvolver e caracterizar compósitos de polímeros com borras de café, de modo a obter novos materiais.

Os principais objetivos desta dissertação são:

- ❖ Produzir compósitos de borras de café, usando diferentes polímeros e biopolímeros e diferentes percentagens de borras de café.
- ❖ Caracterizar, mecanicamente, o comportamento dos materiais compósitos.
- ❖ Perceber se as borras de café funcionam como compatibilizador nas misturas imiscíveis.
- ❖ Estudar se as borras de café alteram o comportamento de degradação em água dos biopolímeros.

1.2. Organização da Dissertação

A dissertação está dividida em 6 capítulos principais de conteúdo.

No Capítulo I, Introdução, é apresentado o enquadramento do problema, bem como os objetivos da dissertação. O Capítulo II, Estado da Arte, envolve os fundamentos teóricos relevantes para a compreensão da dissertação, nomeadamente, sobre o café, os polímeros e as suas misturas, a reciclagem de plásticos, os polímeros biodegradáveis e a economia circular. Este capítulo termina com os casos de estudo que se enquadram neste tema das borras de café. No Capítulo III, Produção e Caracterização das Misturas, é feita uma apresentação dos materiais utilizados para a realização do estudo, é explicado o processo de preparação das misturas de polímeros, é descrito o processo de produção dos corpos de prova e, por fim, é exposto o processo de preparação para a realização dos ensaios. Já o Capítulo IV, Apresentação e Discussão de Resultados, inclui a exposição dos resultados obtidos nos ensaios executados assim como a sua interpretação. Por fim, o Capítulo V, Conclusões e Trabalhos Futuros, abrange uma explicação mais aprofundada dos resultados obtidos e as conclusões obtidas a partir dos mesmos e são apresentadas ideias de continuação desta dissertação, com o intuito de aprofundar o conhecimento sobre certas partes da mesma, assim como dar seguimento ao estudo.

Capítulo II – Estado da Arte

2.1. Fundamentos Teóricos

A planta do café, representada na figura 1, é originária da Etiópia e é usada como alimento até 575 d.C., ano no qual é levada para a Arábia e passa a ser cultivada pelos árabes com o intuito de ser preparada como bebida.



Figura 1 – Planta do café. [5, 6].

O nome ‘café’ deriva da região Cafa, local no continente africano de onde é originário. O café foi classificado na família dos evónimos e, logo depois, na família dos jasmins, sendo, posteriormente, incorporado por Linneo e, mais tarde, por De Jussie, na família das rubiáceas, género *coffea*.

A história mais divulgada é a que um pastor de cabras de um mosteiro cristão, chamado Kaldi, deu de comer às cabras que cuidava, a planta do café. Com isto, percebeu que os animais ficavam agitados e com o sono desregulado. Assim, para que os monges ficassem mais despertos durante os ofícios religiosos da noite, Kaldi fez uma bebida a partir dos grãos da planta. Por volta do ano 1600, os padres em Itália pediram ao Papa Clemente VIII para proibir a bebida preferida do Império Otomano, pois era considerada uma ameaça. No entanto, após o Papa a provar, aceitou a bebida e esta passou a ser apreciada por todos.

Em 1645, o café foi introduzido na Europa a partir de Veneza, no primeiro café público “Café Florian”. Desde aí, as “casas de café” passaram a ser lugares influentes, utilizados para a política e para o desenvolvimento da sociedade, que eram frequentados por artistas, banqueiros, intelectuais e mercadores. No fim do século XVII, Amesterdão torna-se o principal centro de comercialização de café. Durante o reinado do rei D. João V, no século XVIII, Francisco de Melo Palheta conseguiu introduzir o café em Portugal. Os primeiros cafés públicos em Portugal, apareceram durante o século XVIII e eram, tal como em Itália, locais de animação artística e cultural. Em 1822, é criado um protótipo da primeira máquina de café expresso, em França, sendo que no ano de 1855, em Paris, uma máquina mais desenvolvida foi apresentada. É no ano de 1905, em Itália, que a máquina de expresso é aperfeiçoada e é descoberto o processo de descafeinação. Após a Segunda Guerra Mundial, em 1945, Giovanni Gaggia cria uma

máquina na qual a água passa pelo café depois de pressionada por uma bomba de pistão, algo que teve enorme sucesso. O preço do café oscilou bastante ao longo dos séculos, devido à relação consumo/produção do mesmo. Em 1845, o Brasil produzia 45% do café mundial, sendo que, atualmente, é o maior produtor mundial, com 40% do total. [7,8,9,10,11]

Atualmente, o café dá energia a milhões de pessoas logo pela manhã e ao longo de todo o dia e é uma das maiores mercadorias agrícolas do mundo, sendo cultivados, anualmente, em todo o mundo, cerca de 8 bilhões de quilos e servidas cerca de 400 bilhões de chávenas. Disto, resultam cerca de 8 mil milhões de toneladas de borras de café, sendo que a maior parte é descartada como resíduo orgânico para aterros. [11,12]

Desde 2014, o consumo e a produção de café em Portugal têm vindo a aumentar, sendo que, em 2017, o consumo anual per capita, foi de 5,5Kg. Os finlandeses são os maiores consumidores de café, com um consumo anual de 12Kg por pessoa. Na Austrália, são consumidos 6 bilhões de chávenas de café todos os anos e, só em Sydney, por ano, são produzidas 3000 toneladas de resíduos de café. Todos estes resíduos, são descartados e acabam em aterros, assim como os copos de café descartáveis que são utilizados uma vez e deitados fora sem possibilidade de reciclagem, devido ao revestimento interior de plástico. [13,14,15]

Com isto, as borras de café são cada vez mais estudadas devido ao seu potencial e são utilizadas como matéria prima para uma série de aplicações que se encontram representadas na figura 2.

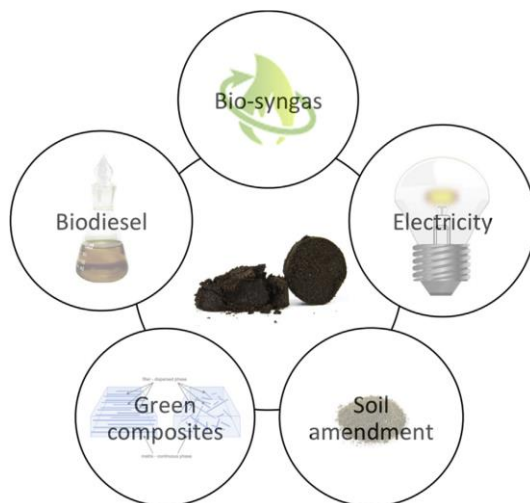


Figura 2 – Potenciais usos para as borras de café. [1]

Hoje em dia, as BC são utilizadas para a produção de biogás, na geração de eletricidade, na compostagem dos solos para a agricultura, como compósitos verdes e para a produção de biodiesel. Este trabalho foca-se na introdução das BC como cargas em compósitos verdes. As borras de café podem funcionar como enchimento ou reforço de compósitos poliméricos. Os compósitos de polímeros são, então, o resultado da incorporação de aditivos orgânicos ou inorgânicos (fibras ou cargas) a uma matriz polimérica. Assim, as borras de café são introduzidas de

forma a permitir a redução geral de custos, reforçar os polímeros e torná-los mais rígidos, alterar as suas propriedades mecânicas e térmicas, controlar ou melhorar o processamento dos materiais e aumentar a biodegradabilidade dos compósitos produzidos. [1,16]

A indústria dos polímeros iniciou-se com a celulose, primeira matéria plástica artificial, sendo que os irmãos Hyatt, em 1870, patentearam o processo de plasticização do nitrato de celulose, mais tarde comercializado como celuloide. O objetivo de John Wesle Hyatt era criar um material que conseguisse substituir o marfim das bolas de bilhar e, com isso, ganhar o concurso lançado pela empresa Phelan and Collander e com ele, 10 mil dólares. Outros exemplos de produtos fabricados com este material na altura, são os pentes, as bonecas, as dentaduras, as escovas de dentes, entre outros. Em 1907, Lord Baekeland patenteou o processo de síntese de um material polimérico sintético, de nome resina fenol-formaldeído. Esta resina substituiu o marfim, as carapaças de tartaruga, a madeira, entre outros materiais, e teve aplicações em manivelas, botões, facas, pentes, joias, e bolas de bilhar. Posteriormente, em 1922, Staudinger simulou o comportamento das macromoléculas de amido, utilizando polímeros sintéticos como o POM e previu que as moléculas poliméricas podem cristalizar apesar do seu elevado peso molecular. Mostrou, também, que os polímeros são constituídos por cadeias moleculares compridas, formadas a partir de cadeias menores, pelo processo de polimerização. Com isto, e apenas passados muitos anos (pois era ridicularizado entre os cientistas e as suas ideias não foram bem aceites), foi finalmente reconhecido pelo seu trabalho e venceu um prémio Nobel de Química em 1953. Também, como pioneiro do desenvolvimento da polimerização, está na história Wallece H. Carothers, que estudou a síntese de poliésteres alifáticos na empresa DuPont. No entanto, a baixa temperatura de fusão das fibras de poliéster, terminou a sua pesquisa e o mesmo continuou o estudo da síntese de poliamidas e, em 1935, anunciou o desenvolvimento da síntese do Nylon 6,6. Apenas em 1946, após a sua morte, é que foi reconhecida a importância do trabalho de Carothers, pois foi nessa altura que J. R. Whinfield percebeu que o PETg poderia ser utilizado como fibra na indústria têxtil.

O reconhecimento do avanço científico e tecnológico na área dos polímeros foi notório através da aquisição de vários prémios Nobel na área da química, por diversos cientistas, ao longo do século XX. Assim, pode-se dizer que os polímeros são materiais relativamente recentes, quando comparados com as cerâmicas e metais e que, apesar da sua descoberta “tardia”, são alvo de estudo intensivo e são, cada vez mais, desenvolvidos de forma a terem propriedades que cumprem, praticamente, todos os requisitos que os diversos campos tecnológicos exigem. O plástico é um ótimo substituto a materiais como o algodão, a celulose, o metal, a madeira, o vidro, a lã, o marfim e o couro, devido ao seu baixo custo e à sua capacidade excelente de possuir diversas propriedades, de acordo com o seu processamento. Por estes motivos, a partir de 1945, os plásticos eram algo que fazia parte da vida de todas as pessoas, independentemente do seu estatuto social. Sendo que o aço era o material predominantemente utilizado, o aparecimento do plástico foi um fenómeno, pois reprogramou o conceito de ergonomia e utilidade de vários objetos

do dia-a-dia. Com isto, à medida que as décadas passam, a exigência do ser humano aumenta e os plásticos estão, atualmente, presentes em praticamente todos os setores industriais, devido à sua excelente performance em diversas áreas. [17,18]

As misturas de polímeros surgiram para cumprir requisitos de propriedades específicas que o consumidor passou a exigir. Com o intuito de se modificar a estrutura dos materiais poliméricos e torná-los adequados para certas aplicações, o início das misturas de polímeros deu-se em 1846, ano no qual Alexander Parkes patenteou uma mistura de borracha natural e látex. Desde essa altura, a tecnologia dos plásticos desenvolveu-se rapidamente e o número de patentes de misturas de polímeros chegou quase às 3000, em apenas um ano. Atualmente, as misturas de polímeros substituem os polímeros tradicionais e estão muito presentes na vida do ser humano, sendo que são, cada vez mais, aperfeiçoadas e manipuladas de forma a se obterem materiais com propriedades extraordinárias. Em 2010, metade dos plásticos produzidos foram misturas de polímeros.

As misturas de polímeros são feitas a partir da conjugação de dois ou mais materiais poliméricos, com o objetivo de criar um novo material com propriedades físicas e químicas diferentes dos originais. Para se fazer uma mistura é necessário selecionarem-se os materiais poliméricos apropriados, sendo que a estrutura química de cada polímero é extremamente importante durante este processo. Podem-se utilizar solventes para facilitar o processo, caso os polímeros não sejam totalmente miscíveis. Também se podem adicionar estabilizadores ou plastificantes, caso seja necessário, e proporcionar condições e um meio apropriado para que as reações ocorram mais facilmente.

As misturas podem ser classificadas pela sua miscibilidade, que define a homogeneidade. Assim, uma mistura pode ser homogênea ou heterogênea. Uma mistura homogênea é miscível a nível molecular e é, de modo geral, visualmente transparente. Já uma mistura heterogênea é imiscível a nível molecular, sendo que ocorre uma separação de fases e não existe uma matriz homogênea. Assim, as misturas imiscíveis têm uma má morfologia e existe fraca aderência entre as fases dos componentes da mesma. No caso das misturas imiscíveis é, então, necessária a utilização de um compatibilizador adequado, para que haja uma melhor morfologia e adesão entre as fases da mistura. [4,19]

O aumento da utilização dos plásticos e suas misturas e compósitos tem, como quase tudo, consequências positivas e negativas.

As vantagens dos plásticos e suas misturas e compósitos, são:

- ✓ Possuem propriedades térmicas excelentes e não degradam facilmente.
- ✓ Têm inúmeras aplicações, com melhor resistência à decomposição ao longo do tempo.
- ✓ Têm baixo custo de produção.
- ✓ Ocupam menos espaço do que os papéis, quando descartados, inapropriadamente, para aterros.

- ✓ O facto de, após a sua utilização, poderem ser incinerados para produção de energia, sem que libertem fumos tóxicos (se a tecnologia utilizada for correta e ecologicamente consciente).
- ✓ Serem materiais leves, sendo que no caso da indústria automóvel, se traduz numa redução do consumo de combustível.
- ✓ Necessitarem de menos de metade da energia que outros materiais necessitam para a sua produção.
- ✓ Melhorarem o processo de armazenamento de alimentos, proporcionando um menor desperdício dos mesmos, pois conservam-se durante mais tempo.
- ✓ Ajudam na higiene e segurança da população, tanto na indústria alimentar e médica, como na canalização de água e saneamento.
- ✓ Por terem baixa condutividade térmica, permitem o manuseamento dos cabos elétricos mais seguro.
- ✓ Conseguem substituir parcialmente ou totalmente os tecidos em algodão e lã, economizando esses recursos.
- ✓ Têm um enorme potencial de reciclagem e esse processo tem menor consumo energético do que a reciclagem do papel.
- ✓ Por terem grande durabilidade, são reutilizáveis e, por isso, podem ter menor impacto ambiental.
- ✓ Quando são biodegradáveis, têm um grande potencial ecológico.

As desvantagens dos polímeros e suas misturas e compósitos, são:

- ✗ A poluição ambiental, quando descartados de forma irresponsável e errada, pois não se degradam facilmente.
- ✗ A sua reciclagem é um processo caro.
- ✗ Impacto negativo nos animais, que os ingerem e ficam feridos, caso estes sejam descartados inconscientemente na Natureza.
- ✗ A contaminação dos microplásticos nos alimentos e na água, devido à sua presença no ambiente (pois são descartados de forma leviana).
- ✗ O facto do PVC, material amplamente utilizado em diversas aplicações, nomeadamente, na construção civil, ser tóxico para a saúde e para o meio ambiente, pois liberta produtos químicos.
- ✗ A degradação química de recipientes que não são reutilizáveis e consequente contaminação dos produtos a consumir.
- ✗ Os produtos químicos adicionados aos plásticos, serem tóxicos e contaminarem o conteúdo.
- ✗ O facto de não serem biodegradáveis e demorarem dezenas a centenas de anos a se decomporem totalmente.
- ✗ O facto de alguns plásticos não serem recicláveis e, portanto, acabarem o seu ciclo de vida em aterros.

- ✖ A reciclagem de alguns polímeros não ser economicamente ou ambientalmente viável.
 - ✖ O uso excessivo dos recursos de petróleo, para fabrico dos plásticos.
 - ✖ O facto de a limpeza dos oceanos e da Natureza ser um processo extremamente caro e demorado, pois a contaminação dos plásticos, por descarte inapropriado, tornou-se de grande escala no planeta Terra.
- [20,21]

Apenas 9% de todo o plástico produzido é reciclado. Durante 150 anos, 40% do plástico produzido foi descartado após uma única utilização. Cerca de 8 a 13 milhões de toneladas de plástico acabam por chegar aos oceanos, todos os anos. Tudo isto são consequências do descarte inapropriado de embalagens e produtos feitos em plástico por parte do consumidor, dos pescadores, que deixam as redes e materiais de pesca nos mares, da gestão inconveniente dos resíduos de plástico e das legislações e regulamentações não rigorosas.

A quantidade de resíduos sólidos plásticos que chegam aos oceanos está a aumentar de dia para dia, o que está a fazer com que estes se movam com as marés e formem ilhas de plástico cada vez maiores. Esses resíduos sólidos, por não se degradarem facilmente, estão a ter um impacto negativo na vida animal, principalmente na população animal marítima e costeira. Os animais ingerem os plásticos mais pequenos e, por não os conseguirem digerir, ou por sufocamento, acabam por morrer. Outros, ficam envolvidos pelos resíduos, crescem com deformações ou acabam por morrer, pois ficam presos e não conseguem alimentar-se. [22] Para além de estarem a afetar a vida animal, os plásticos estão a ser encontrados no sal marinho, no ar, na água e nos nossos alimentos. Os microplásticos são fragmentos de plástico com dimensões extremamente reduzidas que, por serem tão pequenos, facilmente entram na nossa cadeia alimentar.

Cerca de 90% da água engarrafada consumida pelo ser humano, tem vestígios de plástico, assim como os alimentos como o peixe, o marisco e sal marinho. Estas partículas de plástico, ao serem consumidas, podem entrar na corrente sanguínea e no sistema linfático e acumularem-se no fígado, enfraquecendo o sistema imunitário do ser humano, tornando-o mais suscetível a possíveis doenças. Em 2018, foram selecionadas pessoas para que fosse feito um estudo sobre a presença de microplásticos no organismo. 100% das pessoas que foram analisadas, tinham vestígios de plástico no organismo, com doses que sugerem que estes seriam consumidos diariamente junto com a alimentação normal. As partículas tinham dimensões entre 50 e 500 μm e incluíam cerca de 9 tipos diferentes de plástico, nomeadamente borrachas sintéticas e silicone. Está provado que, pelo facto de quase todos os produtos alimentares e bebidas que consumimos serem embalados em plástico, este vai sendo ingerido a cada refeição e vai sendo acumulado nos nossos organismos. [23,24]

De forma a reduzir o impacto ambiental causado pelos plásticos e desenvolver uma forma mais sustentável do ciclo de vida dos materiais, os polímeros biodegradáveis ganharam popularidade no mundo científico. [25] Por serem

materiais de origem natural, os biopolímeros são o futuro, pois para além de terem um impacto ambiental muito menor, há uma redução da produção dos polímeros sintéticos com origem no petróleo. [26]

Os polímeros naturais são encontrados na natureza, tanto em plantas como nos animais, são exemplos, a madeira, o latex e o algodão. [18] Os polímeros biodegradáveis são materiais orgânicos de origem biológica, produzidos a partir de matérias-primas naturais renováveis, nomeadamente, quitina, celulose, cana-de-açúcar e milho. O termo 'biodegradável' inclui os materiais capazes de sofrerem decomposição em contacto com compostos orgânicos ou inorgânicos, dióxido de carbono, água e metano, por ação, predominantemente, enzimática de microrganismos como as bactérias, os fungos e as algas, ou através do processo de hidrólise, quando em contacto com a água. Assim, a biodegradação envolve duas fases. Numa primeira fase, a humidade, as enzimas ou até mesmo o calor, quebram as ligações carbono-carbono das cadeias poliméricas longas. Esta fase chama-se 'degradação' e resulta na diminuição de resistência do plástico e consequente fragmentação do mesmo. Já numa segunda fase, as cadeias mais curtas de carbono são alimento dos microrganismos, atravessando a membrana celular, sendo transformadas em metano, dióxido de carbono, água e biomassa. A esta fase dá-se o nome de 'biodegradação'.

Os polímeros biodegradáveis que têm sido mais falados, são os que são obtidos a partir de fontes renováveis, pois são os que têm menor impacto ambiental. No entanto, as fontes renováveis têm um ciclo de vida mais curto do que as fontes fósseis, como o petróleo, que demora milhares de anos para se formar. O aumento do interesse pelos biopolímeros deve-se a fatores socioeconómicos e ambientais, nomeadamente, o facto do preço do petróleo aumentar devido à insuficiência do mesmo e o facto dos processos de extração e refinação do petróleo terem um enorme impacto ambiental. Outro fator importante é o tempo de vida dos materiais de origem natural ser muito menor do que o dos materiais de origem sintética. Isto, faz com que haja uma redução do problema de acumulação de plásticos em aterro, pois os plásticos biodegradáveis, para serem considerados biodegradáveis, têm que se decompor no máximo de 180 dias. Ainda assim, os biopolímeros não são feitos para serem descartados para aterro, sendo que a compostagem é a finalidade desejada dos mesmos. A figura 3 representa o ciclo de vida idealizado para os polímeros biodegradáveis. O ciclo começa com a extração do amido e da celulose dos materiais renováveis, seguida da fermentação e polimerização dos mesmos. O ciclo pode terminar com o fabrico dos produtos em plástico biodegradável, ou essas embalagens, após terminarem a sua função, podem ser utilizados para compostagem na agricultura. Assim, quando se transformam em biomassa, podem fazer parte da origem dos materiais renováveis seguintes, fornecendo novamente o amido e a celulose, completando totalmente o ciclo de vida.

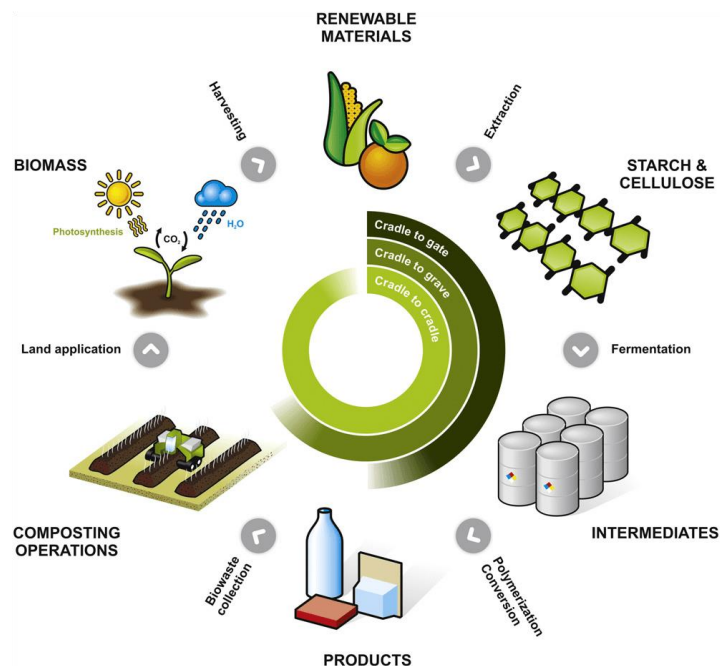


Figura 3 – Ciclo de vida dos materiais biodegradáveis. [27]

Apesar das vantagens que os biopolímeros apresentam, existem também desvantagens, por exemplo, a dificuldade do seu processamento, a sua baixa resistência térmica, fracas propriedades mecânicas e reológicas e o seu custo elevado. A produção dos plásticos biodegradáveis é uma tecnologia em desenvolvimento e utilizada em pequena escala, por isso, o seu custo ainda é bastante elevado. No entanto, os materiais biodegradáveis têm um papel economicamente favorável e estão, cada vez mais, a terem utilidade em aplicações do dia-a-dia. [26,28,29]

Numa tentativa de reduzir o impacto ambiental provocado pelos SCG e pelos plásticos de origem sintética, várias empresas estão a desenvolver todo o tipo de produtos à base de polímeros e resíduos de café. Estas empresas, estão apresentadas de forma breve no subcapítulo 2.2 desta dissertação.

2.2. Casos de Estudo

Indo de encontro à necessidade de inovar e reaproveitar os resíduos de café, várias empresas têm vindo a incorporar as borras de café em diversos produtos de decoração, na indústria de alimentação, em peças de joalharia e de vestuário e até em produtos de beleza. Seguidamente, irão ser apresentados alguns dos produtos que já se produzem, com recurso aos SCG como matéria-prima.

A decafé é uma empresa espanhola, fundada por Raúl Lauri e Mónica Serrano e utiliza as borras de café como matéria prima, juntamente com ligantes naturais e cargas minerais e aplica esta mistura em peças de decoração, nomeadamente, candeeiros, suportes de velas, taças decorativas, molduras de espelhos, entre outros, representadas

na figura 4. O material obtido é totalmente biodegradável, 100% natural e ecológico, é orgânico e não conduz a eletricidade e é resistente a temperaturas até 80°C. Algumas características interessantes das peças criadas com este material são o facto de cheirar a café, ter um toque agradável e textura porosa, ter dureza equivalente à cerâmica e ser fosco. [30]



Figura 4 – Peças produzidas pela decafé, respetivamente, candeeiros, suportes de velas, taças decorativas e moldura de espelho.

A Kaffeeform é uma empresa alemã, fundada por Julian Lechner e produz chávenas e copos de café transportáveis utilizando borras de café e biopolímeros. Estes produtos, representados na figura 5, são leves, de grande durabilidade e resistência mecânica, são recicláveis e seguros quer para alimentação como para irem à máquina de lavar loiça. [31]



Figura 5 – Peças produzidas pela Kaffeeform, respetivamente, chávenas de café e copos de café transportáveis.

A Re-Worked é uma empresa inglesa, fundada por Sam Isaacs e mistura os grãos de café usados com resíduos reciclados de plástico. O material resultante é à prova de água e não risca, sendo que é maleável o suficiente para ter uma variedade de aplicações. Assim, a empresa aplica este material em peças de decoração, nomeadamente, cadeiras, bancos e mesas de café, representadas na figura 6. Antes de ter descoberto estas aplicações, o fundador da Re-Worked utilizava as borras de café para criar fertilizantes de jardim que repelem as lesmas e também chávenas de café. [32]



Figura 6 – Peças produzidas pela Re-Worked, respetivamente, banco, cadeira de baloiço, cadeira e mesa de café.

Raise The Bar é uma empresa australiana, fundada por Bronte Hogarth que cria produtos de beleza, através de uma mistura de borras de café, óleo de côco e manteiga de karité, nomeadamente, barras esfoliantes, representadas na figura 7. Estas barras são 100% naturais, vegan, sem crueldade e não contêm microesferas de plástico comuns a muitos produtos de beleza. [33]



Figura 7 – Barras esfoliantes produzidas pela Raise The Bar.

Capítulo III – Produção e Caracterização das Misturas

3.1. Materiais

Os materiais selecionados para este trabalho foram o PMMA, o PETg, o ABS, duas misturas de biopolímeros, nomeadamente, o F29 e o F10, e as borras de café. Escolheram-se o PMMA, o PETg e o ABS por serem materiais amorfos que mostraram, em trabalhos anteriores, ter alguma compatibilidade com o café.

Numa primeira fase procedeu-se à composição das misturas dos polímeros virgens sem café. Na segunda fase, fez-se a seleção das misturas iniciais de acordo com a compatibilidade dos materiais, sendo que se escolheu a mistura que aparentava ter pior compatibilidade, nomeadamente, o PMMA com o PETg e a mistura que parecia ter melhor compatibilidade, o F29 com o F10 e introduziram-se, a essas duas, as borras de café numa percentagem de 95% polímero com 5% café e 60% polímero com 40% café.

Todos os materiais utilizados foram pesados de acordo com as percentagens necessárias e secos em duas estufas (Anexo B) durante, no mínimo, 8 horas, para que a humidade absorvida pelos mesmos fosse libertada de forma a facilitar o processamento.

Café

Para a realização deste estudo foram reaproveitadas borras de café provenientes de vários estabelecimentos. O tratamento das borras de café teve 3 etapas. Primeiro, as borras de café foram peneiradas com o auxílio de peneiras normais. Seguidamente, foram colocadas na estufa e, por fim, colocadas na tremonha da extrusora para que fossem misturadas, em diversas percentagens, com as misturas poliméricas.

Biopolímeros F29 e F10

Os dois polímeros biodegradáveis utilizados para o trabalho foram o F29 e o F10, sendo que o F29 é um material rígido de cor branca e o F10 é flexível e tem uma cor amarelada. Tanto o F29 como o F10 são materiais da *Nurel* (Anexo A1 e A2) e são misturas de polímeros de origem natural e sintética que degradam ao longo do tempo. O F29 tem 84% de material biodegradável e o F10 possui 40% de material de origem natural.

PMMA

O acrílico usado neste projeto é um grau de extrusão da LG, é um polímero amorfo rígido e é transparente.

PETg

O PETg selecionado é um grau de extrusão da LG, é um termoplástico amorfo rígido e é transparente.

ABS

O ABS utilizado neste trabalho é um grau de injeção da Poliversal, é um polímero amorfo rígido e é bordô.

3.2. Preparação das Composições

A composição iniciou-se com a mistura dos polímeros virgens em percentagens variadas pelo processo de extrusão. Para tal, foi utilizada a extrusora de duplo fuso com movimento co-rotativo *Leistritz* (modelo LSM A6 36/30.34) do DEP, figura 8.

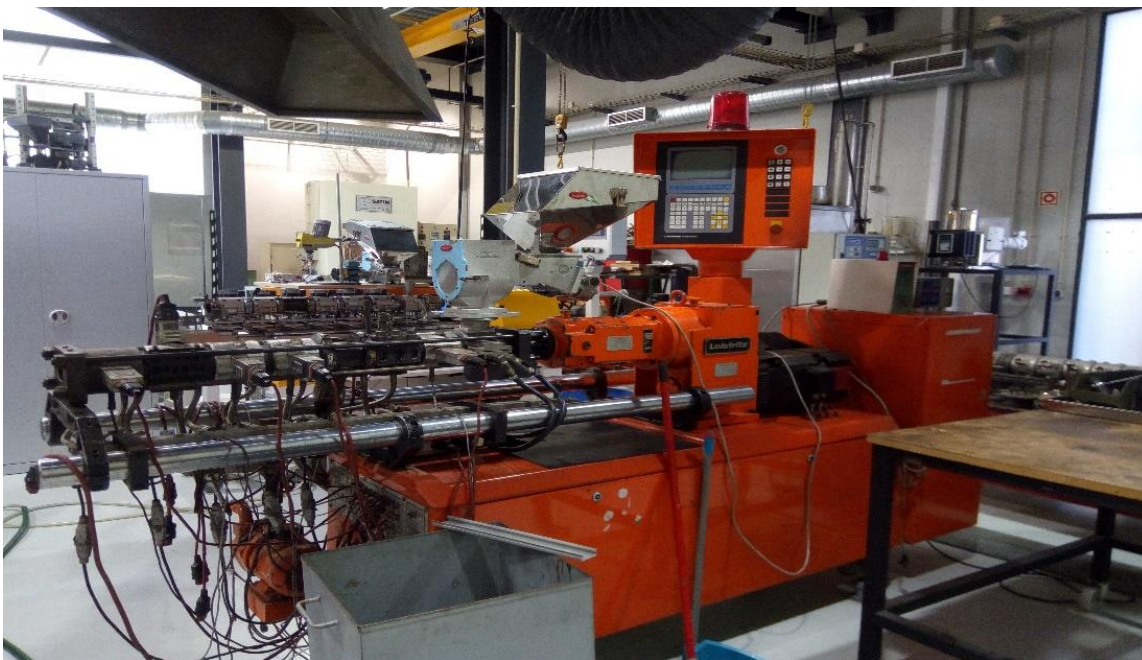


Figura 8 – Extrusora *Leistritz*.

No que diz respeito às condições de processamento, a velocidade de rotação utilizada para todas as misturas sem café foi de 150rpm com um débito de 6Kg/h. Já para as misturas com café a velocidade de rotação foi de 150rpm e o débito foi de 7Kg/h. O processo de extrusão foi automático, sendo que a obtenção das amostras demorou, para cada mistura, cerca de 1 hora. As temperaturas das diferentes zonas do cilindro foram adaptadas para cada material, sendo que para as três misturas de PMMA e PETg sem café o gradiente de temperaturas foi dos 200°C aos 210°C, para as três misturas de PMMA e ABS sem café foi dos 160°C aos 190°C, para as três misturas de PETg e ABS sem café foi dos 160°C aos 190°C e, por último, para as três misturas de F29 e F10 sem café o gradiente de temperaturas foi dos 170°C aos 200°C. Já para as misturas de PMMA e PETg com café e para as misturas de F29 e F10 com café o gradiente de temperaturas foi dos 170°C aos 200°C. À medida que o fundido saiu pela fiação, foram-se cortando amostras de material de peso aleatório que foram, posteriormente, trituradas num moinho

tritador *GRINDO*, (Anexo B). A granulometria não foi controlada devido à utilização de um crivo no sistema de trituração, sendo que os grânulos estavam aptos para a finalidade pretendida.

3.3. Preparação dos Corpos de Prova

A produção dos provetes foi realizada numa injetora *Engel SPEX VICTORY 50*, figura 9, e o fluido de refrigeração usado foi a água.



Figura 9 – Injetora *Engel*.

O molde utilizado tinha duas cavidades, uma para provetes de tração e outra para provetes de impacto ou flexão. Para proceder à injeção dos provetes, fez-se a estufagem das misturas, previamente granuladas, durante 6 horas e colocaram-se na tremonha da injetora. A injeção dos provetes foi um processo realizado em ciclo manual, sendo que se obtiveram cerca de 30 provetes para cada mistura.

Ao longo do processo foram notórios alguns defeitos, nomeadamente, moldação incompleta, chupados, rebarba e jito preso. A moldação incompleta apenas se observou nos provetes de tração, o que pode indicar um sistema de alimentação desequilibrado. Os chupados foram recorrentes nos provetes de impacto o que leva a concluir que a espessura elevada da peça, juntamente com um sistema de alimentação não equilibrado, foram os fatores que contribuíram para tal ocorrência. A rebarba pode indicar um volume de injeção demasiado elevado ou uma segunda pressão demasiado reduzida. O jito preso pode ocorrer devido a um tempo de arrefecimento reduzido ou a uma temperatura do molde elevada. Assim, qualquer oscilação ou inconsistência nos resultados obtidos para cada material,

pode ser consequência da ocorrência de defeitos na fase de injeção dos provetes. Cada defeito indicado pode ter várias razões para ter ocorrido, tal como para cada razão existem medidas corretivas que eliminam ou minimizam esses defeitos.

Na figura 10 estão representadas as geometrias dos provetes obtidos por injeção, sendo que as dimensões do provete de impacto são, aproximadamente, 130 x 12 x 6 mm (comprimento, largura e espessura) e as do provete de tração são 190 x 10 x 4 mm, respetivamente.



Figura 10 – Provette de impacto e provete de tração, respetivamente.

3.4. Caracterização dos Materiais

A caracterização dos materiais é essencial para se obter a informação necessária para o estudo dos mesmos. Assim, recorreu-se a diversos ensaios e testes, de forma a perceber a viabilidade da utilização de borras de café em compósitos de biopolímeros. Para tal, foram realizados ensaios de caracterização mecânica, nomeadamente, de impacto e de tração, ensaios de caracterização térmica, particularmente, o DSC e testes de resistência à degradação em água.

3.4.1. Caracterização Mecânica

Resistência ao Impacto

Para se realizarem os ensaios de impacto, segundo a norma ASTM D256, fizeram-se entalhes de 2,54mm, em 10 provetes de cada mistura, com o auxílio da máquina de corte *Ceast* (Anexo B), sendo que se mediram a espessura e largura de cada um dos provetes com um paquímetro *Absolute Digimatic* (Anexo B). Todas as medidas dos 370 provetes estão representadas nas tabelas 4 a 11 dos Anexos C1 e C2. Com isto, realizaram-se os ensaios de impacto para cada um dos provetes num equipamento de impacto *Ceast 6545* (Anexo B). Todos os ensaios foram realizados com um peso de 7,5J exceto o F10, para o qual se utilizou um peso de 15J.

Os cálculos realizados para os ensaios de impacto são dados pela Equação 1.

$$RI = \frac{i-p}{A_t} \quad (1)$$

Onde:

RI – Valor de resistência ao impacto [J/m²]

i – Valor de impacto fornecido pelo equipamento [J]

p – Peso do pêndulo do equipamento [J]

A_t – Área da secção transversal do provete [m²]

Tração

Os ensaios de tração foram realizados segundo a norma ASTM D638 no equipamento *Instron 5969* (Anexo B) à temperatura ambiente a uma velocidade de 50 mm/min. Antes da realização dos ensaios foi necessário proceder à medição da secção transversal dos provetes. As medidas executadas estão nas tabelas 11 a 19 dos Anexos C3 e C4. Foram realizados 10 ensaios para cada condição, que resulta num total de 370 provetes.

3.4.2. Caracterização Térmica

Os ensaios de DSC foram realizados segundo a norma ASTM E1356 no equipamento *Netzsch DSC 200 F3 Maia* (Anexo B), fazendo um varrimento em temperatura entre a temperatura ambiente e os 250°C a uma taxa de 10°C/min. Os valores dos pesos das amostras utilizadas encontram-se no Anexo C5. Foi realizado um 1º aquecimento (H1) seguido de arrefecimento (C) a temperatura controlada (30°C/min) e só após estas duas fases é que se deu início ao 2º aquecimento (H2), cujos resultados foram recolhidos. Apenas os gráficos de H2 são apresentados no trabalho, sendo que os gráficos de H1 e de C de todos os materiais se encontram no Anexo E.

Este ensaio foi realizado apenas para os materiais e misturas de materiais sem a introdução de borras de café, com o intuito de perceber a miscibilidade dos materiais e saber quais as misturas que aparentam ter maior e menor compatibilidade.

3.4.3. Teste de Resistência à Degradação em Água

Com este teste pretende-se avaliar a sensibilidade dos diversos polímeros e das misturas com borras de café em ambientes húmidos. Para isso, amostras de provetes das várias composições são imersas em água e é avaliada a variação do seu peso ao longo do tempo, através da Equação 4.

$$\Delta m_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 (\%) \quad (4)$$

Onde:

Δm_t – Variação da massa da amostra num dado instante t;

m_t – Massa da amostra no instante t;

m_0 – Massa inicial da amostra.

Observou-se também o aspecto visual das amostras. Os ensaios começam com a com a imersão de 2 amostras de cada material em 100 ml de água. Durante 30 dias, as amostras foram retiradas da água, secas e pesadas individualmente, sendo que todos os dias foram tiradas fotografias e anotada a massa de cada uma das amostras. Para este teste, apenas se estudaram os biopolímeros virgens e as suas misturas com borras de café, pois estes materiais têm maior facilidade em absorver água e a degradarem em ambientes molhados.

Capítulo IV – Apresentação e Discussão de Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através dos vários testes de caracterização mecânica, térmica e de resistência à degradação em água dos materiais, bem como a discussão dos mesmos.

No subcapítulo 4.1. são exibidos os resultados dos testes de caracterização mecânica e térmica. Estes testes têm como finalidade estudar o comportamento dos materiais virgens e das suas misturas e perceber o grau de compatibilidade entre os mesmos. São também apresentados os resultados dos testes de resistência à degradação em água realizados nos materiais selecionados, nomeadamente, o F29 e o F10 e as suas misturas sem a introdução das borras de café, para estudar o seu comportamento num ambiente molhado.

No subcapítulo 4.2. são expostos os resultados dos testes de caracterização mecânica executados nos materiais escolhidos na primeira fase, nomeadamente o PMMA com o PETg e o F29 com o F10, de forma a perceber se a inserção de 5% e 40% de borras de café funciona como compatibilizador entre a mistura que aparenta ter pior compatibilidade, PMMA com PETg, e a mistura que parece ter melhor compatibilidade, F29 com F10. São também exibidos os resultados dos testes de resistência à degradação em água dos materiais selecionados, são eles o F29 e o F10 e as suas misturas com café.

No subcapítulo 4.3. estão apresentados os resultados de todos os testes de caracterização mecânica realizados nos materiais, para melhor compreensão e comparação dos mesmos.

4.1. Caracterização dos Materiais sem Café

4.1.1. Caracterização Mecânica

Resistência ao Impacto

As figuras 11, 12, 13 e 14 representam a variação dos valores médios de resistência ao impacto entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, ABS, F29 e F10 e as suas misturas sem café. Os gráficos representativos de todos os valores individuais de resistência ao impacto, dos 170 provetes, situam-se no Anexo D1.

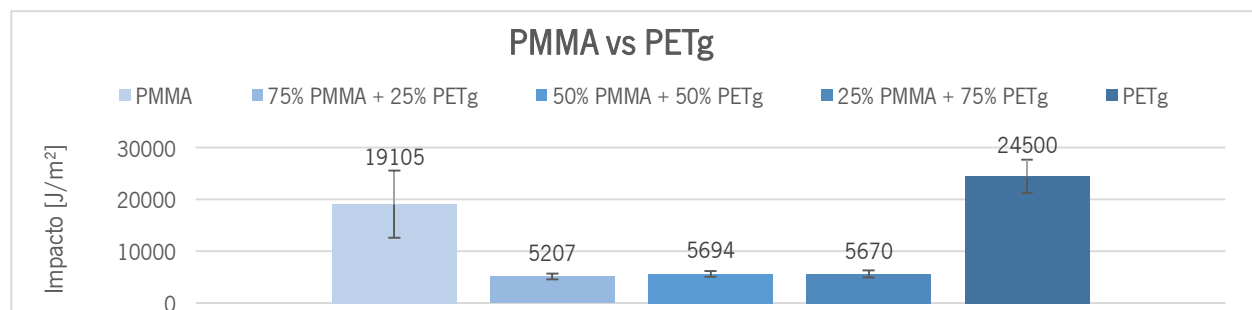


Figura 11 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.

Na figura 11 é possível observar que as três misturas do PMMA com o PETg têm bastante pior performance ao impacto do que cada um dos dois materiais virgens. O PMMA tem um valor de resistência ao impacto de 19105 J/m², que é inferior ao do PETg de 24500 J/m². Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência de apenas 5524 J/m². Comparativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, menos 71% de resistência ao impacto. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, menos 78% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 275 J/m² que equivale a 5%.

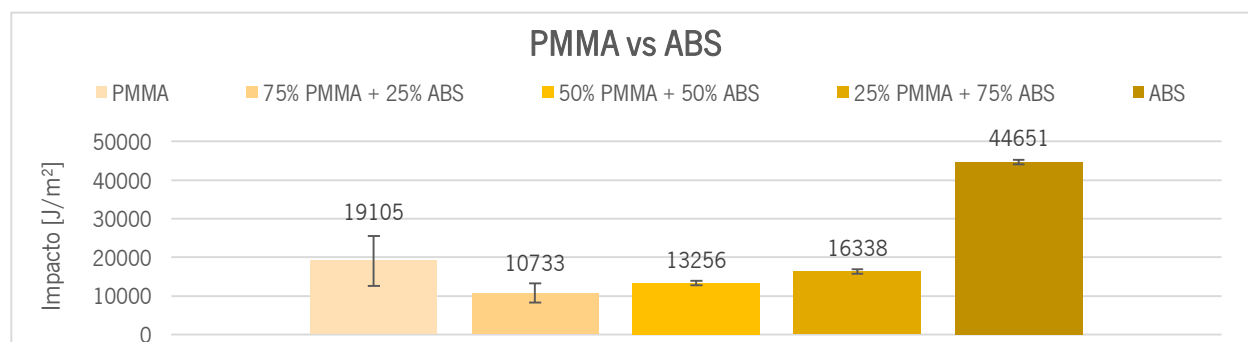


Figura 12 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.

Na figura 12 também se verifica que as três misturas do PMMA com o ABS têm pior performance ao impacto do que cada um dos dois materiais virgens. O PMMA tem um valor de resistência ao impacto de 19105 J/m², que é inferior ao do ABS de 44651 J/m². Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência de 13442 J/m². Relativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, menos 30% de resistência ao impacto. Quando comparadas ao ABS, as três misturas têm, em média, menos 70% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um pouco variado com um desvio padrão de 2807 J/m² que equivale a 21%.

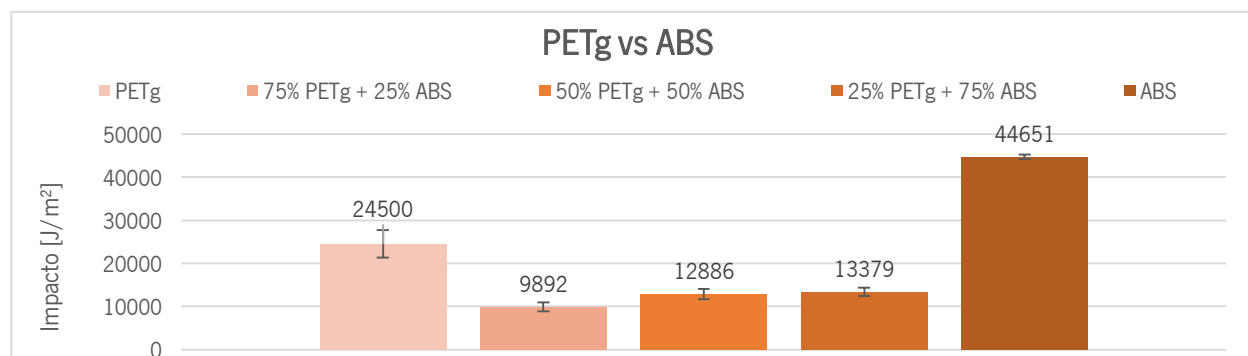


Figura 13 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.

Na figura 13 nota-se, mais uma vez, que as três misturas do PETg com o ABS têm pior performance ao impacto do que cada um dos dois materiais virgens. O PETg tem um valor de resistência ao impacto de 24500 J/m², que é

inferior ao do ABS de 44651 J/m². Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência de 12053 J/m². Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, menos 51% de resistência ao impacto. Comparativamente ao ABS, as três misturas têm, em média, menos 73% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento relativamente semelhante com um desvio padrão de 1887 J/m² que equivale a 16%.

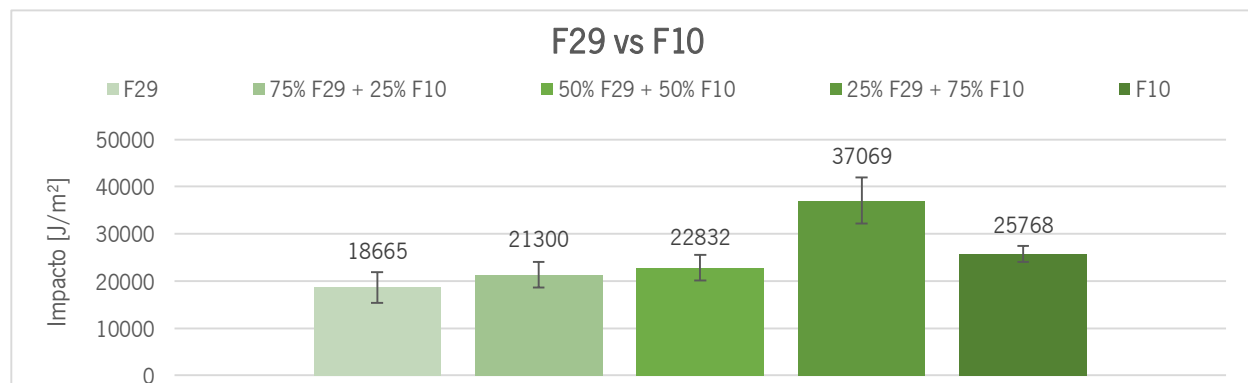


Figura 14 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.

Na figura 14 é possível analisar que, ao contrário de todas as outras combinações vistas até agora, as três misturas do F29 com o F10 têm melhor performance ao impacto do que o F29 virgem. No caso particular da mistura de 25/75, a performance ao impacto é extremamente elevada quando comparada ao F29, com uma resistência de mais 99% do que o material virgem e maior resistência do que a do F10 em 44%. O F29 tem um valor de resistência ao impacto de 18665 J/m², que é inferior ao do F10 de 25768 J/m². Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência de 27067 J/m². Comparativamente ao F29, as três misturas têm, em média, mais 45% de resistência ao impacto. Equiparando ao F10, as três misturas têm, em média, apenas mais 5% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um pouco variado com um desvio padrão de 8696 J/m² que equivale a 32%.

Tração

As figuras 15, 16, 17 e 18 representam os gráficos de tensão-deformação dos compósitos produzidos em PMMA, PETg, ABS, F29 e F10 e as suas misturas, sem café. As figuras apresentam todos os provetes testados para cada material com o intuito de evidenciar a variação de resultados e, simultaneamente, mostrar potenciais transições entre comportamento dúctil/frágil e vice-versa. A escala do eixo dos y e dos x mantém-se constante para o conjunto de materiais.

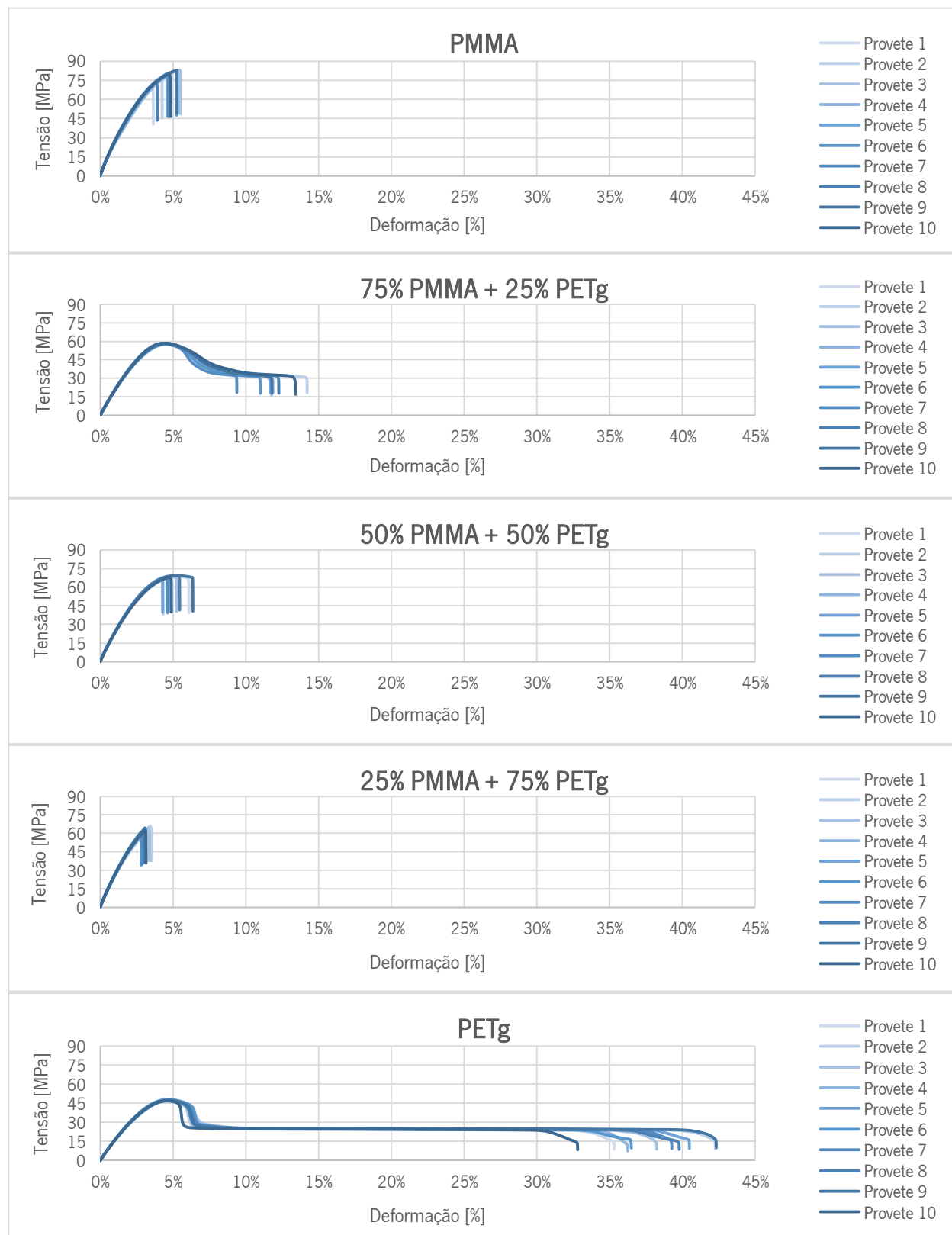


Figura 15 – Curvas de tração do PMMA virgem, das misturas de 75% PMMA + 25% PETg, de 50% PMMA + 50% PETg e de 25% PMMA + 75% PETg e do PETg virgem, respectivamente.

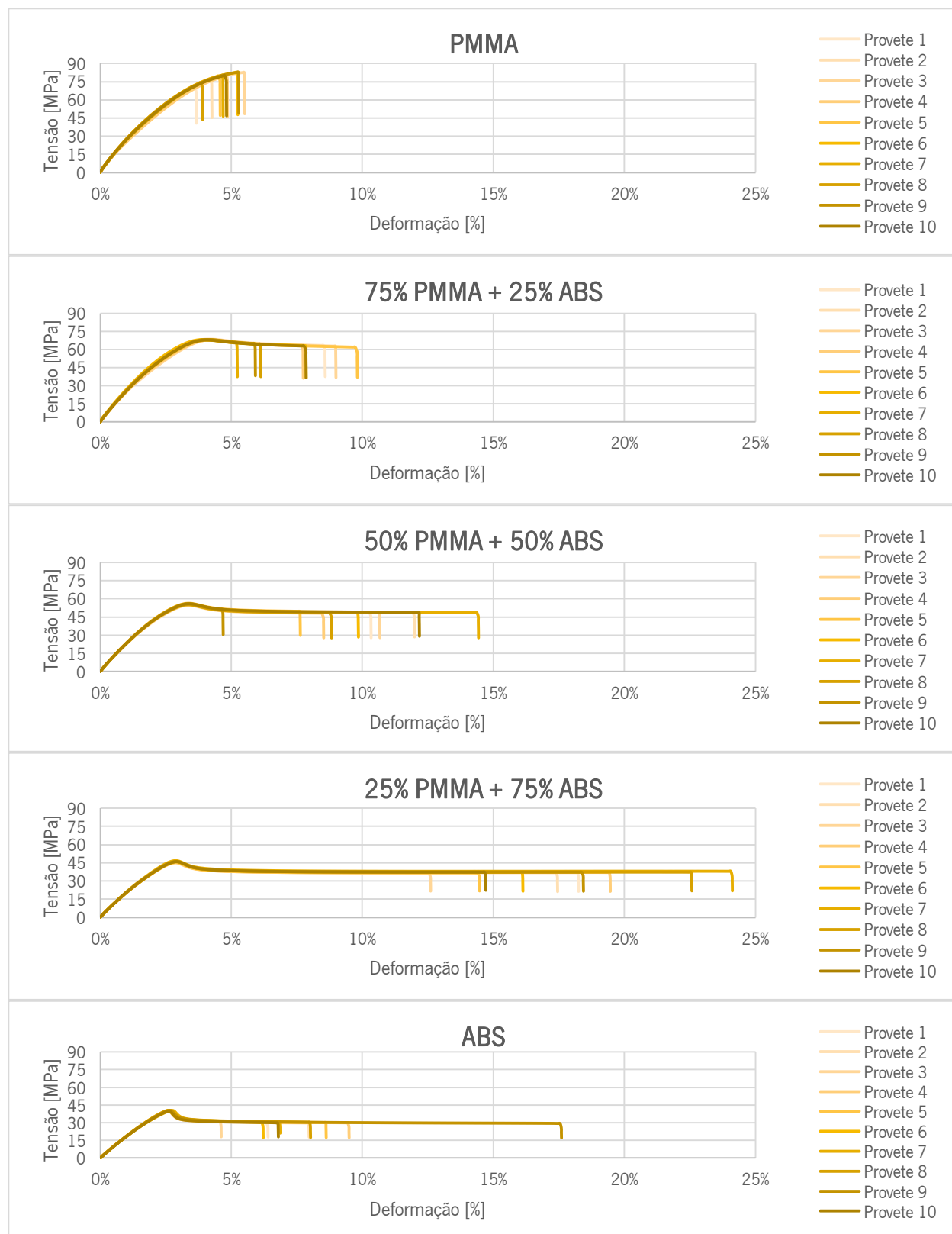


Figura 16 – Curvas de tração do PMMA virgem, das misturas de 75% PMMA + 25% ABS, de 50% PMMA + 50% ABS e de 25% PMMA + 75% ABS e do ABS virgem, respectivamente.

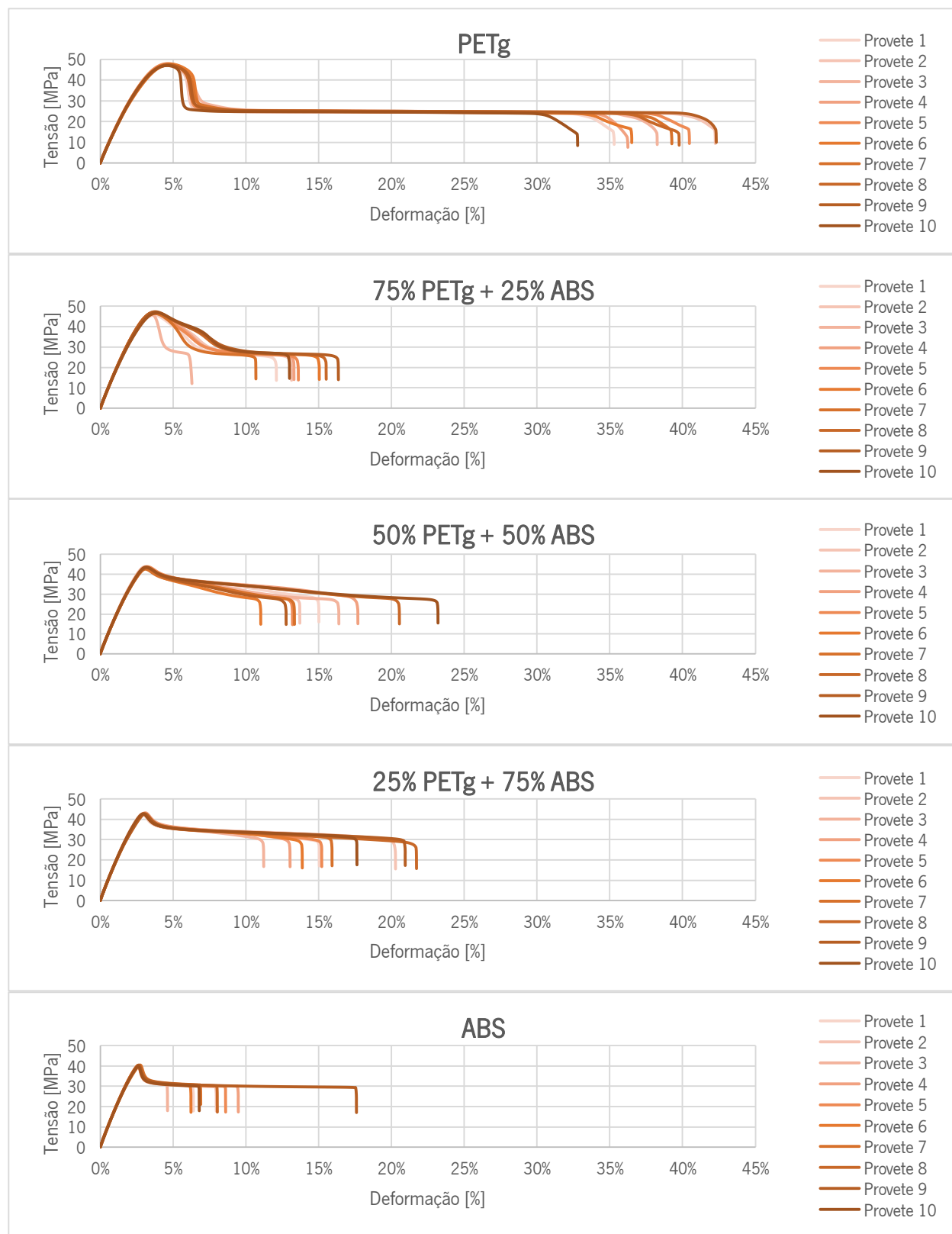


Figura 17 – Curvas de tração do PETg virgem, das misturas de 75% PETg + 25% ABS, de 50% PETg + 50% ABS e de 25% PETg + 75% ABS e do ABS virgem, respetivamente.

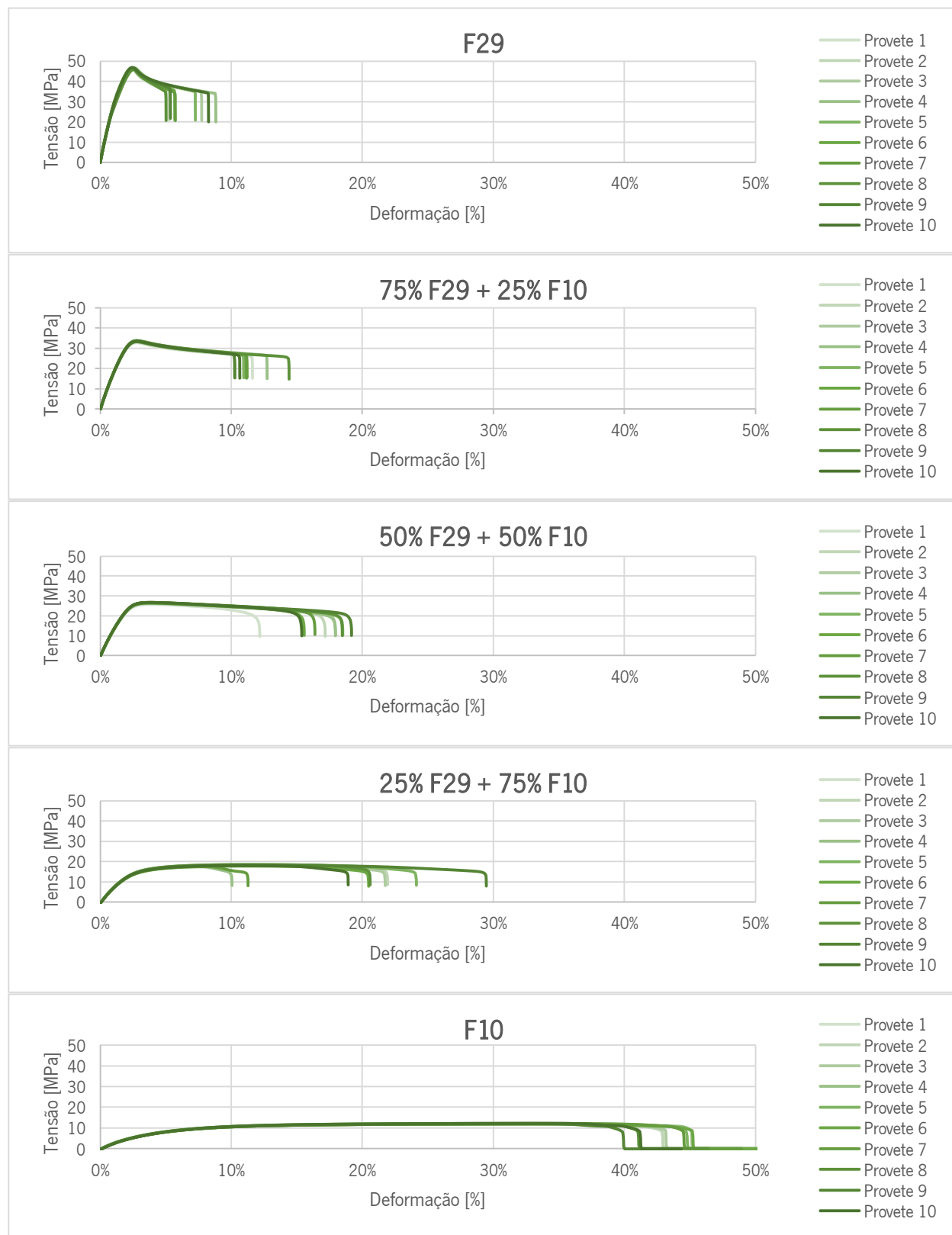


Figura 18 – Curvas de tração do F29 virgem, das misturas de 75% F29 + 25% F10, de 50% F29 + 50% F10 e de 25% F29 + 75% F10 e do F10 virgem, respectivamente.

Na figura 15 estão representados os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do PMMA e do PETg virgens e das três misturas entre eles. Ao analisar a figura 15 é possível perceber que o PMMA é um material frágil, pois deforma, em média, apenas 4,6% antes de partir com uma tensão média de 79 MPa. Já o PETg é um material dúctil que deforma, em média, 38% antes de quebrar com uma tensão média de 15 MPa. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão da tensão de rotura de 20 MPa que equivale a 38% e um desvio padrão da deformação à rotura de 4,7% que equivale a 70%.

Na figura 16 estão apresentados os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do PMMA e do ABS virgens e das três misturas entre eles. Observando a figura 16 verifica-se que o PMMA é um material frágil, pois deforma, em média, apenas 4,6% antes de partir com uma tensão média de 79 MPa. Já o ABS é um material dúctil que deforma, em média, 8% antes de quebrar com uma tensão média de 30 MPa. Entre elas, as três misturas têm um comportamento muito variado com um desvio padrão da tensão de rotura de 13 MPa que equivale a 26% e um desvio padrão da deformação à rotura de 5,4% que equivale a 46%.

Na figura 17 estão expostos os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do PETg e do ABS virgens e das três misturas entre eles. Analisando a figura 17 confirma-se que tanto o PETg como o ABS são ambos materiais dúcteis. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão da tensão de rotura de 2,4 MPa que equivale a 10% e um desvio padrão da deformação à rotura de 2% que equivale a 13%.

Na figura 18 estão retratados os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do F29 e do F10 virgens e das três misturas entre eles. Ao observar a figura 18 é possível entender que tanto o F29 como o F10 são materiais dúcteis, sendo que o F10 é mais dúctil do que o F29. Assim, o F29 deforma, em média, apenas 6,4% antes de partir com uma tensão média de 35 MPa. Já o F10 deforma, em média, 52% antes de quebrar com uma tensão média de 12 MPa. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão da tensão de rotura de 7 MPa que equivale a 37% e um desvio padrão da deformação à rotura de 4% que equivale a 25%.

Tensão Máxima

Nas figuras 19, 20, 21 e 22 mostra-se a variação dos valores médios de tensão máxima em tração entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, ABS, F29 e F10 e as suas misturas, sem café. Os gráficos representativos de todos os valores individuais de tensão máxima, dos 170 provetes, situam-se no Anexo D2.

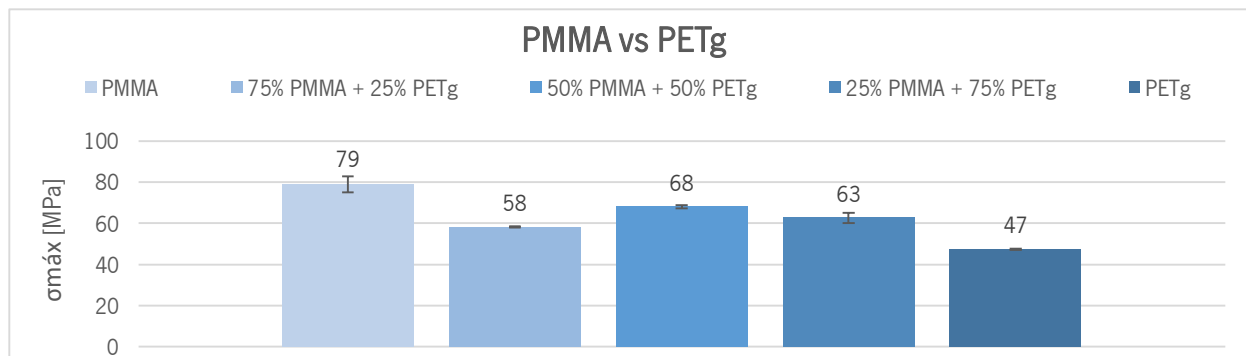


Figura 19 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.

Na figura 19 é possível observar que as três misturas do PMMA com o PETg têm valores semelhantes de tensão máxima. O PMMA tem uma tensão máxima de 79 MPa, que é superior à do PETg de 47 MPa. Já as três misturas têm, em média, uma tensão máxima de 63 MPa. Comparativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 20%. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, uma tensão maior em 33%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 5 MPa que equivale a 8%.

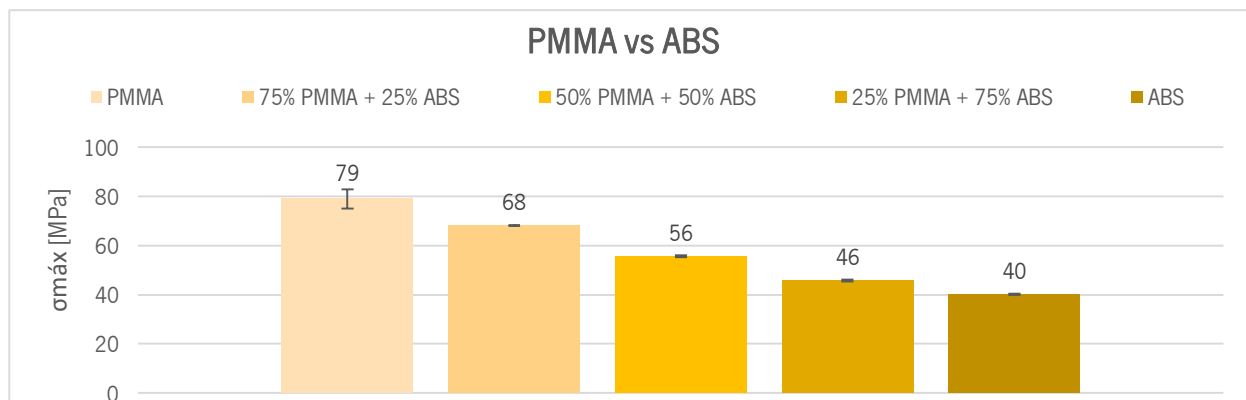


Figura 20 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.

Na figura 20 verifica-se que as três misturas do PMMA com o ABS têm valores de tensão máxima intermédios aos dos materiais virgens. O PMMA tem uma tensão de 79 MPa, que é superior à do ABS de 40 MPa e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de ABS aumenta nas misturas, a tensão diminui. Já as três misturas têm, em média, uma tensão de 57 MPa. Relativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 29%. Quando comparadas ao ABS, as três misturas têm, em média, uma tensão maior em 41%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento pouco semelhante com um desvio padrão de 11 MPa que equivale a 20%.

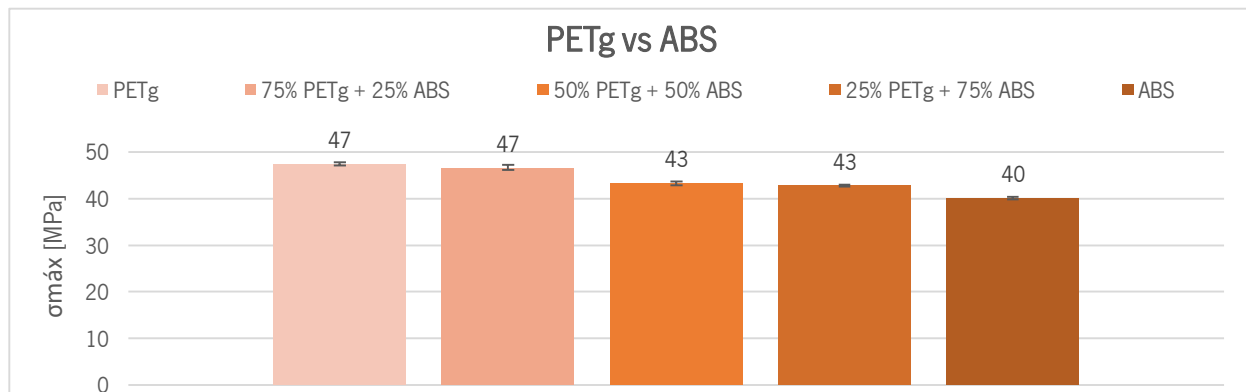


Figura 21 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.

Na figura 21 nota-se que as três misturas do PETg com o ABS têm valores de tensão máxima bastante semelhantes aos dos materiais virgens. O PETg tem uma tensão de 47 MPa, que é superior à do ABS de 40 MPa e, tal como seria de supor, à medida que a quantidade de ABS aumenta nas misturas, a tensão máxima diminui. Já as três misturas têm, em média, uma tensão de 44 MPa. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 7%. Comparativamente ao ABS, as três misturas têm, em média, uma tensão maior em 10%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente semelhante com um desvio padrão de apenas 2 MPa que equivale a 5%.

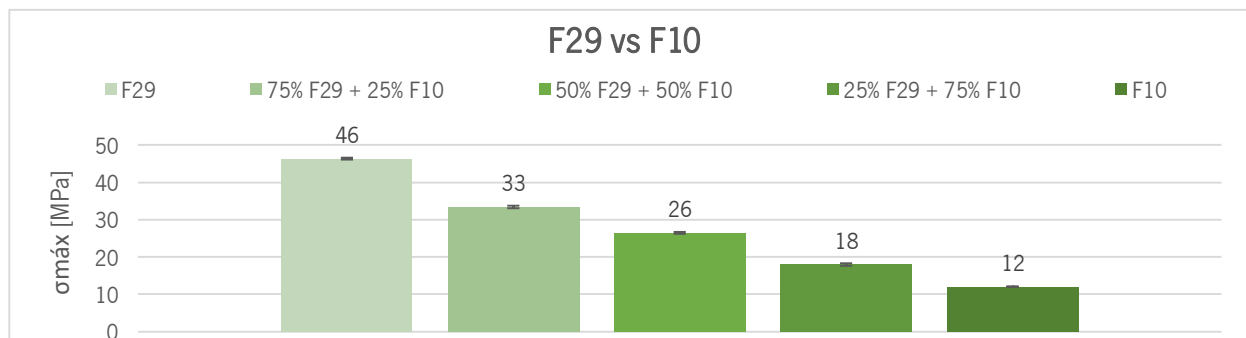


Figura 22 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.

Na figura 22 verifica-se que as três misturas do F29 com o F10 têm valores de tensão máxima completamente intermédios aos dos materiais virgens. O F29 tem uma tensão de 46 MPa, que é superior ao do F10 de 12 MPa e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de F10 aumenta nas misturas, a tensão máxima diminui. Já as três misturas têm, em média, uma tensão máxima de 26 MPa. Comparativamente ao F29, as três misturas têm, em média, uma tensão máxima menor em 44%. Equiparando ao F10, as três misturas têm, em média, uma tensão maior em 115%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão de 7 MPa que equivale a 30%.

Módulo de Elasticidade

Nas figuras 23, 24, 25 e 26 mostra-se a variação dos valores médios do módulo de elasticidade em tração entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, ABS, F29 e F10 e as suas misturas, sem café. Os gráficos representativos de todos os valores individuais de módulo de elasticidade, dos 170 provetes, estão no Anexo D3.

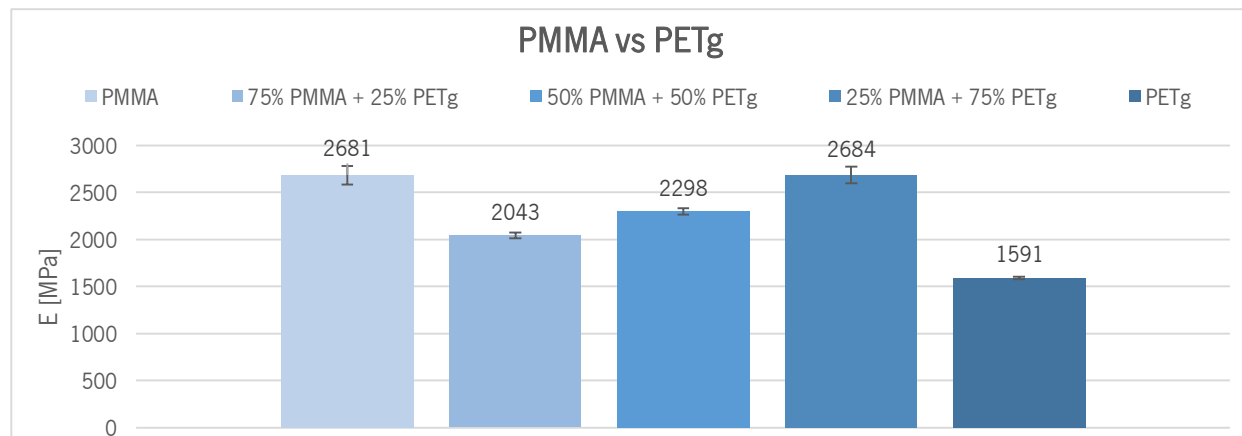


Figura 23 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.

Na figura 23 é possível observar que as três misturas do PMMA com o PETg têm valores de módulo de elasticidade variados em relação aos dos materiais virgens. O PMMA tem um módulo de 2681 MPa, que é superior ao do PETg de 1591 MPa, mas ao contrário do que seria de esperar, à medida que a quantidade de PETg aumenta nas misturas, o módulo também aumenta. Já as três misturas têm, em média, um valor do módulo de elasticidade de 2342 MPa. Comparativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade menor em 13%. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, um módulo maior em 47,%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 323 MPa que equivale a 14%.

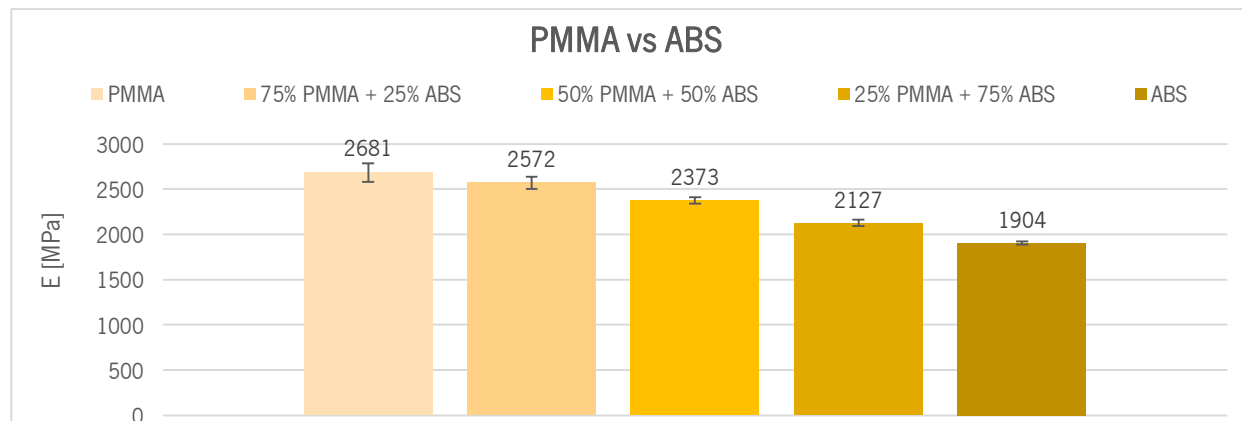


Figura 24 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.

Na figura 24 verifica-se que as três misturas do PMMA com o ABS têm valores de módulo de elasticidade completamente intermédios aos dos materiais virgens. O PMMA tem um módulo de 2681 MPa, que é superior ao do ABS de 1904 MPa e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de ABS aumenta nas misturas, o módulo de elasticidade diminui. Já as três misturas têm, em média, um valor do módulo de 2357 MPa. Relativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade menor em 12%. Quando comparadas ao ABS, as três misturas têm, em média, um módulo maior em 24%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 223 MPa que equivale a 10%.

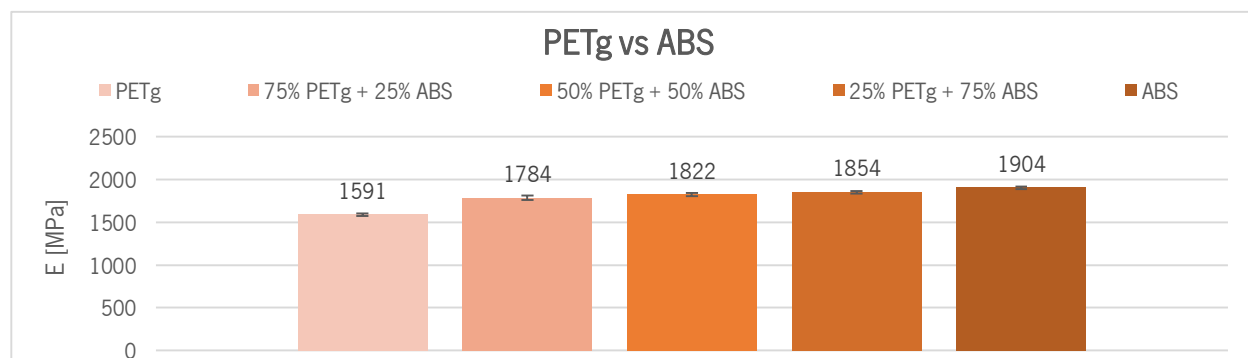


Figura 25 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.

Na figura 25 nota-se que as três misturas do PETg com o ABS têm valores de módulo de elasticidade bastante intermédios aos dos materiais virgens. O PETg tem um módulo de 1591 MPa, que é inferior ao do ABS de 1904 MPa e, tal como seria de supor, à medida que a quantidade de ABS aumenta nas misturas, o módulo de elasticidade também aumenta. Já as três misturas têm, em média, um valor do módulo de 1820 MPa. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade maior em 14%. Comparativamente ao ABS, as três misturas têm, em média, um módulo menor em 4%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente semelhante com um desvio padrão de apenas 35 MPa que equivale a 2%.

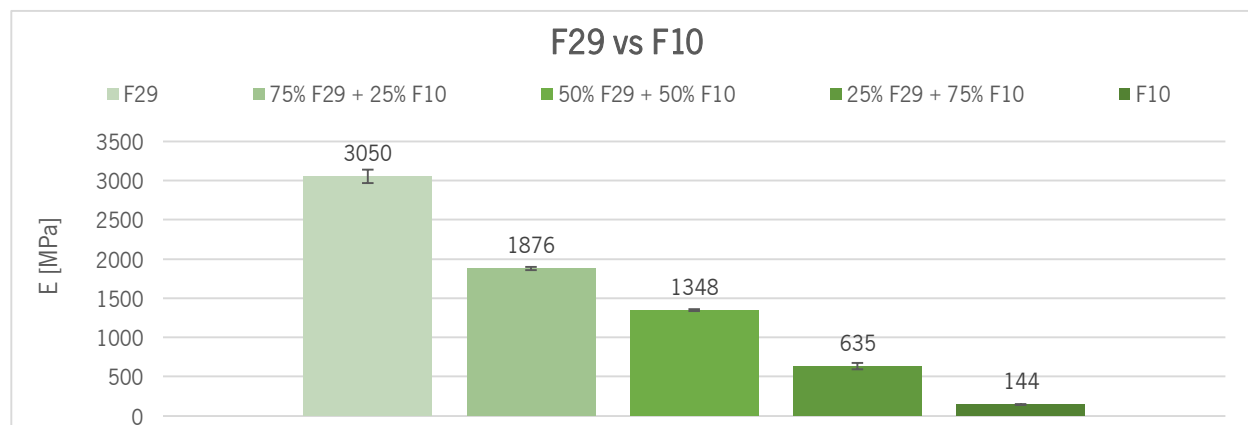


Figura 26 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.

Na figura 26 verifica-se que as três misturas do F29 com o F10 têm valores de módulo de elasticidade completamente intermédios aos dos materiais virgens. O F29 tem um módulo de 3050 MPa, que é muito superior ao do F10 de apenas 144 MPa e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de F10 aumenta nas misturas, o módulo de elasticidade diminui. Já as três misturas têm, em média, um valor do módulo de 1286 MPa. Comparativamente ao F29, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade menor em 58%. Equiparando ao F10, as três misturas têm, em média, um módulo maior em 791%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão de 623 MPa que equivale a 48%.

Deformação à Ruptura

As figuras 27, 28, 29 e 30 representam a variação dos valores médios da deformação à ruptura em tração entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, ABS, F29 e F10 e as suas misturas, sem café. Os gráficos representativos de todos os valores individuais de deformação à ruptura, dos 170 provetes, encontram-se no Anexo D4.

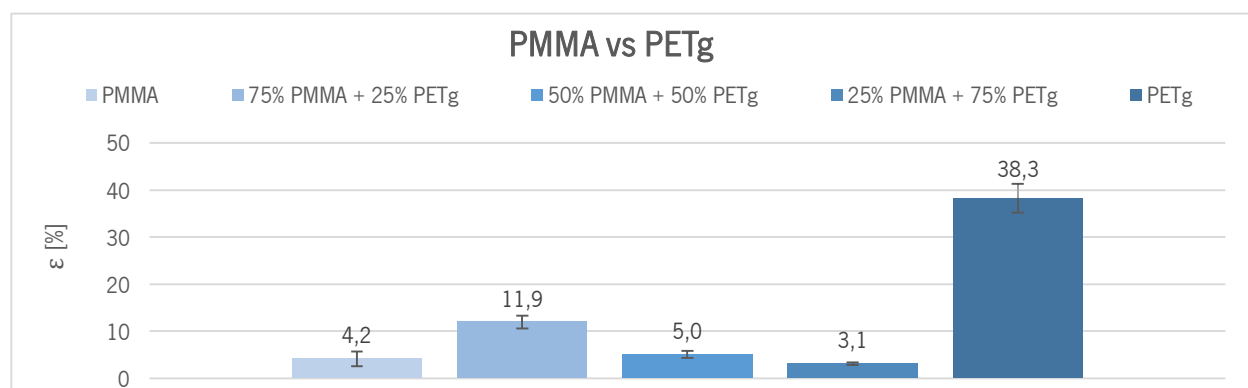


Figura 27 – Variação média da deformação à ruptura, em percentagem, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas.

Na figura 27 é possível observar que as três misturas do PMMA com o PETg têm valores de deformação à ruptura bastante variados em relação aos dos materiais virgens. O PMMA tem uma deformação à ruptura de 4%, que é significativamente inferior à do PETg de 38%, mas ao contrário do que seria de esperar, à medida que a quantidade de PETg aumenta nas misturas, a deformação diminui. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à ruptura de 7%. Comparativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, uma deformação à ruptura maior em 44%. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, uma deformação menor em 83%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão de 5% que equivale a 70%.

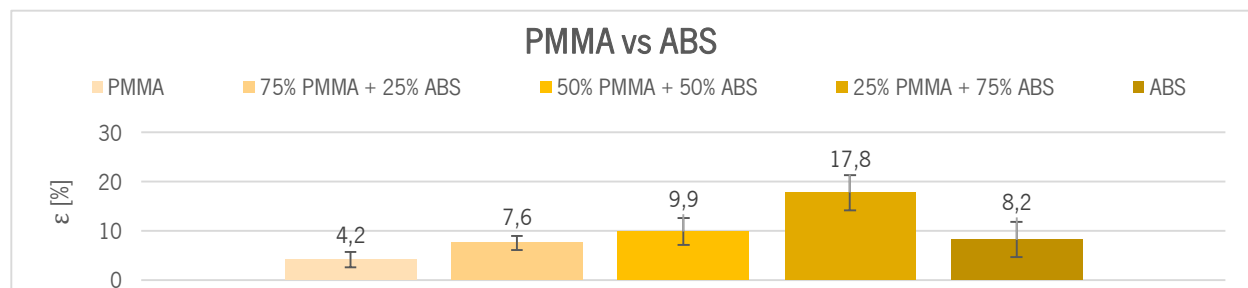


Figura 28 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas.

Na figura 28 verifica-se que as três misturas do PMMA com o ABS têm valores de deformação à rotura relativamente intermédios aos dos materiais virgens. O PMMA tem uma deformação à rotura de 4%, que é inferior à do ABS de 8% e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de ABS aumenta nas misturas, a deformação também aumenta. No entanto, aumenta para valores superiores ao valor de deformação do ABS virgem. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 12%. Relativamente ao PMMA, as três misturas têm, em média, uma deformação à rotura maior em 153%. Quando comparadas ao ABS, as três misturas têm, em média, uma deformação maior em 43%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento variado com um desvio padrão de 5% que equivale a 46%.

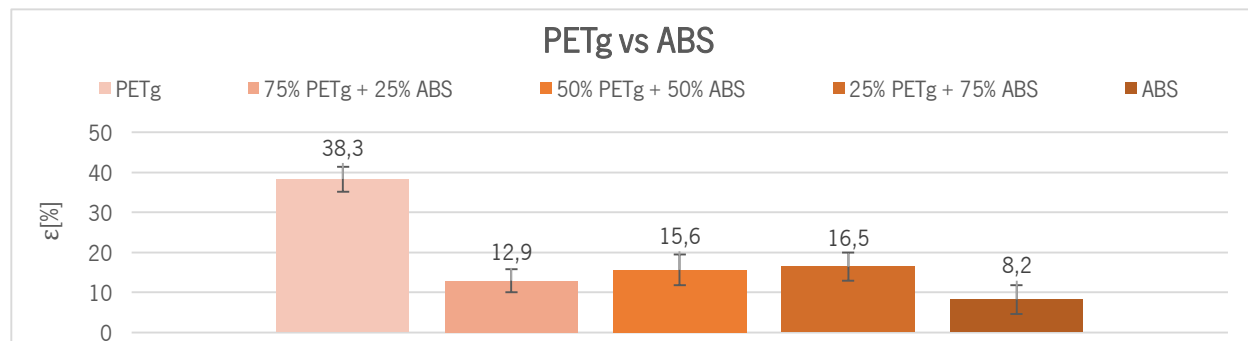


Figura 29 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas.

Na figura 29 nota-se que as três misturas do PETg com o ABS têm valores de deformação à rotura bastante variados em relação aos dos materiais virgens. O PETg tem uma deformação à rotura de 38%, que é extremamente superior à do ABS de 8%, mas ao contrário do que seria de esperar, à medida que a quantidade de ABS aumenta nas misturas, a deformação também aumenta. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 15%. Quando equiparadas ao PETg, as três misturas têm, em média, uma deformação à rotura menor em 61%. Comparativamente ao ABS, as três misturas têm, em média, uma deformação maior em 82%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento semelhante com um desvio padrão de 2% que equivale a 13%.

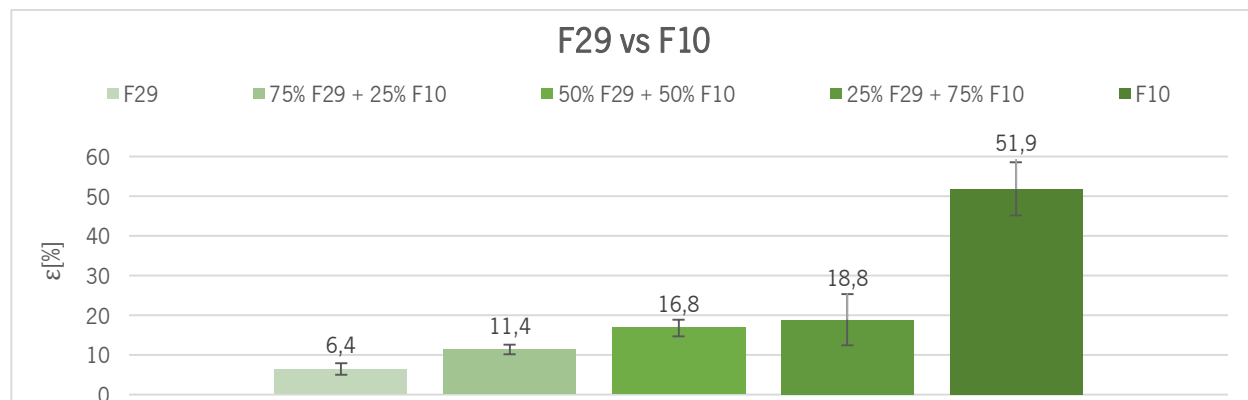


Figura 30 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas.

Na figura 30 verifica-se que as três misturas do F29 com o F10 têm valores de deformação à rotura completamente intermédios aos dos materiais virgens. O F29 tem uma deformação à rotura de 6%, que é muito inferior à do F10 de 52% e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de F10 aumenta nas misturas, a deformação também aumenta. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 16%. Comparativamente ao F29, as três misturas têm, em média, uma deformação maior em 145%. Equiparando ao F10, as três misturas têm, em média, uma deformação menor em 70%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um pouco variado com um desvio padrão de 4% que equivale a 25%.

4.1.2. Caracterização Térmica

A figura 31 representa os resultados do 2º aquecimento (H2) dos ensaios de DSC dos compósitos produzidos em PMMA e PETg e as suas misturas, sem café. Para melhor leitura dos gráficos traçaram-se linhas verticais nas T_g dos materiais virgens (PMMA – cinzento; PETg – preto) e compararam-se essas temperaturas às dos compósitos de forma a perceber se existem desvios.

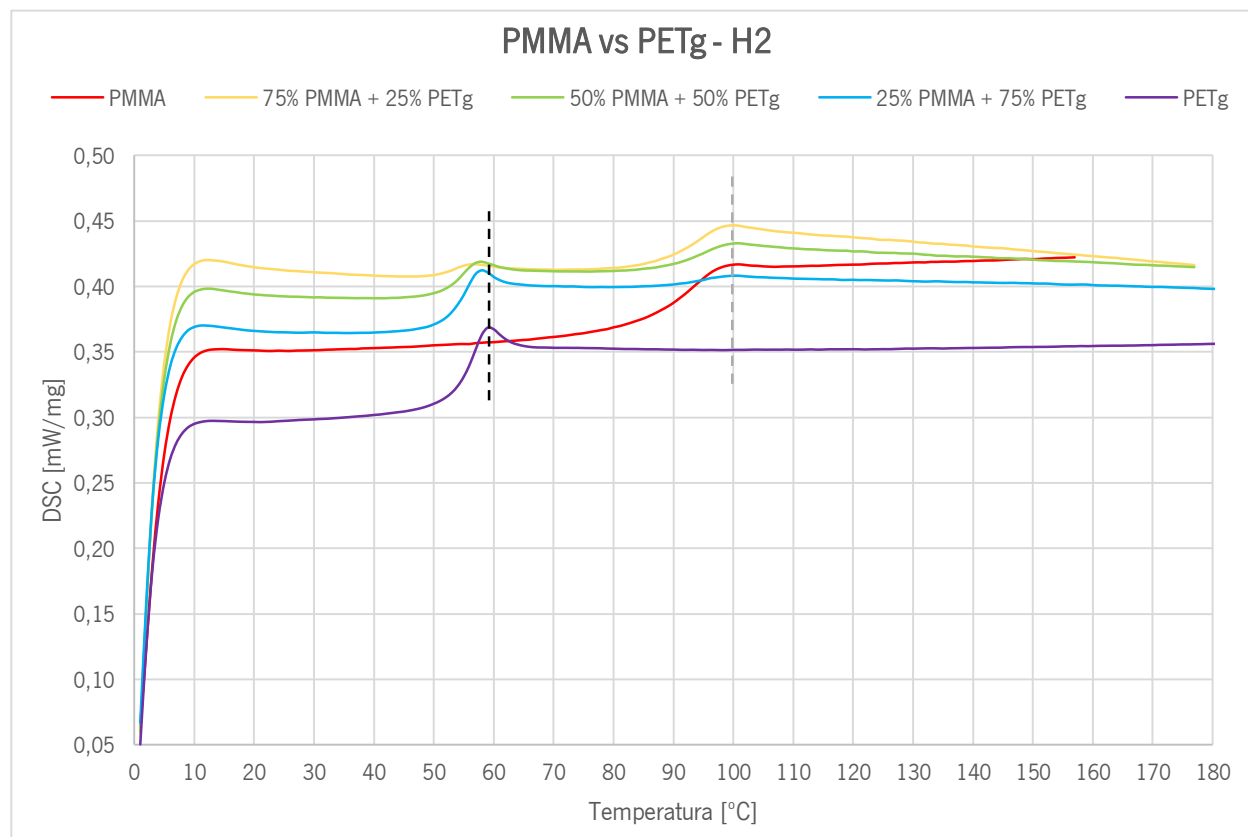


Figura 31 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do PMMA, do PETg e das suas misturas.

Na figura 31 é possível observar que a T_g do PETg é de, aproximadamente, 60°C e que a T_g do PMMA é de, sensivelmente, 100°C. A amplitude da curva do PMMA é mais elevada do que a do PETg. Já as três misturas têm amplitudes superiores à dos materiais virgens, sendo que à medida que a quantidade de PETg aumenta, a amplitude diminui. Quanto às T_g das misturas comparativamente com a do PMMA, verifica-se que há um ligeiro desvio das mesmas para a esquerda, o que indica que a T_g baixou, provavelmente devido à presença de água e consequente plasticização do material. As T_g das misturas equiparadas à do PETg, não parecem apresentar desvios significativos o que indica que não parece ter havido interação entre os dois materiais.

A figura 32 representa os resultados do 2º aquecimento (H2) dos ensaios de DSC dos compósitos produzidos em PMMA e ABS e as suas misturas, sem café. Para melhor leitura dos gráficos traçaram-se linhas verticais nas a T_g dos materiais virgens (PMMA – preto; ABS – cinzento) e compararam-se essas temperaturas com as dos compósitos de forma a perceber se existem desvios.

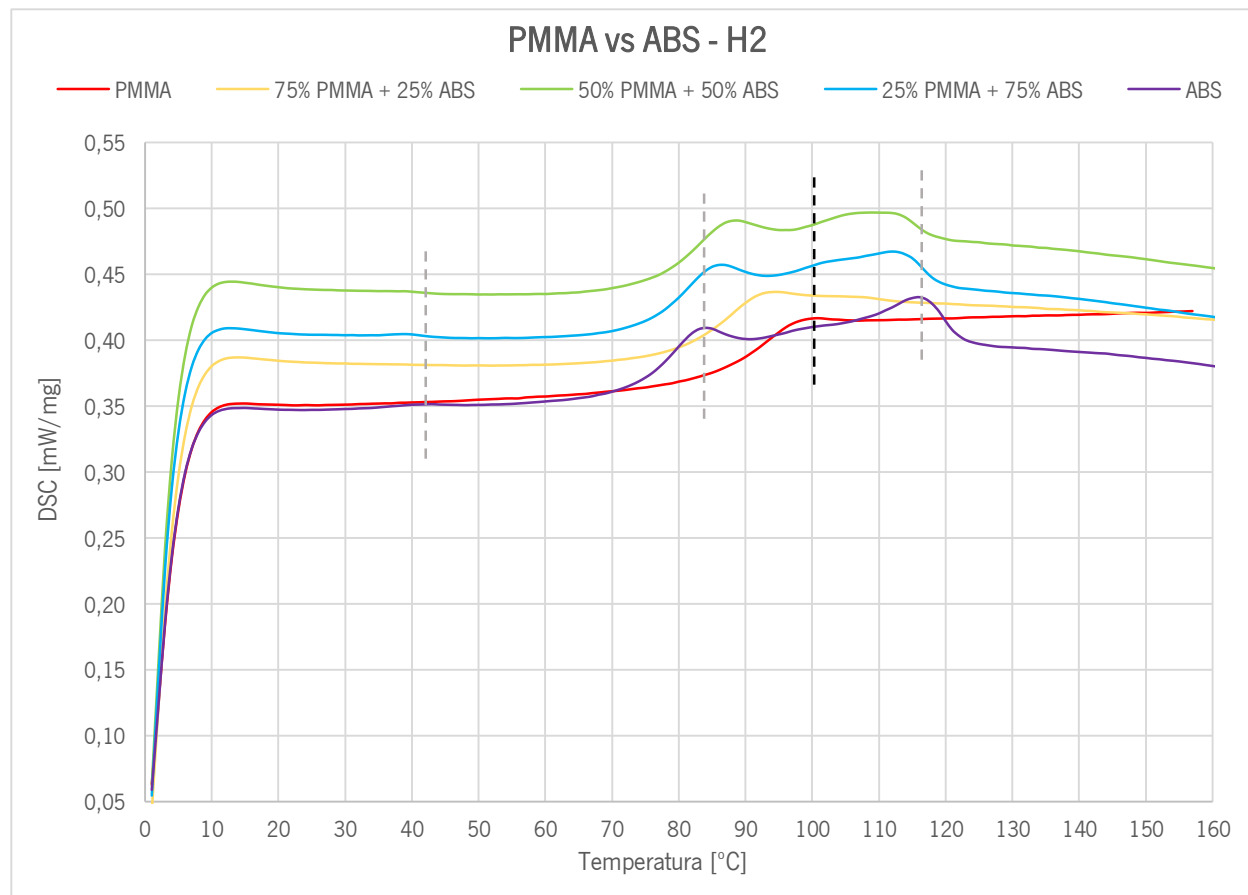


Figura 32 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do PMMA, do ABS e das suas misturas.

Na figura 32 verifica-se que as três T_g do ABS ocorrem, aproximadamente, aos 40°C, 85°C e 115°C e que a T_g do PMMA acontece a, sensivelmente 100°C. A amplitude da curva do PMMA é inferior à do ABS. Já as três misturas têm amplitudes superiores à dos materiais virgens, sendo que a ordem decrescente das amplitudes é: 50/50 > 25/75 > 75/25. No que diz respeito às T_g das misturas comparativamente à primeira do ABS, estas tendem a sofrer um desvio para a esquerda, o que indica, tal como com os compósitos previamente referidos, que a T_g baixou, possivelmente devido à plasticização do material pela presença de água. Equiparando as T_g das misturas à do PMMA, dá para perceber que há desvios entre elas, assim como quando se comparam as das misturas às T_g 2 e 3 do ABS. Aparentemente, as T_g das misturas sofrem um desvio no sentido de ficarem intermédias às dos materiais virgens, o que indica que pode existir alguma compatibilidade entre eles.

A figura 33 representa os resultados do 2º aquecimento (H2) dos ensaios de DSC dos compósitos produzidos em PETg e ABS e as suas misturas, sem café. Para melhor leitura dos gráficos traçaram-se linhas verticais nas T_g

dos materiais virgens (PETg – cinzento; ABS – preto) e compararam-se essas T_g com as dos compósitos de forma a perceber se existem desvios.

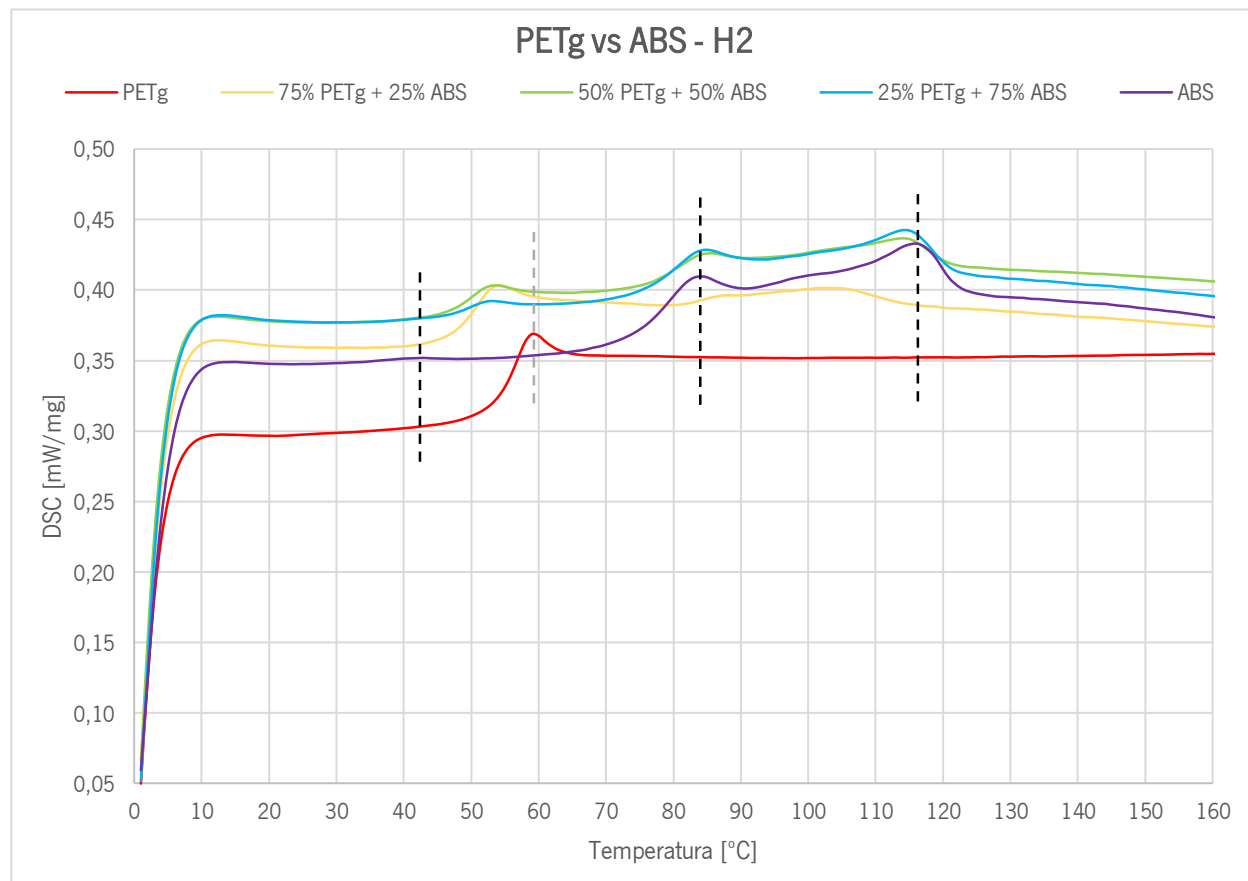


Figura 33 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do PETg, do ABS e das suas misturas.

Na figura 33 nota-se que as três T_g do ABS ocorrem a, aproximadamente, 40°C, 85°C e 115°C e que a T_g do PETg acontece a, sensivelmente, 60°C. A amplitude da curva do PETg é menor do que a do ABS, sendo que os restantes materiais se podem organizar, por ordem decrescente, da seguinte forma: 50/50 > 25/75 > 75/25. Quanto às T_g das misturas comparativamente à primeira do ABS e à do PETg, verifica-se que há um desvio das mesmas para valores intermédios às dos materiais virgens, o que indica que pode existir interação entre eles. Equiparando as T_g das misturas às 2^{as} e 3^{as} do ABS, parece notar-se a influência do PETg, pois há um certo desvio nas T_g para valores intermédios e alguma atenuação das mesmas, o que valida que é possível existir alguma compatibilidade entre o PETg e o ABS.

A figura 34 representa os resultados do 2º aquecimento (H2) dos ensaios de DSC dos compósitos produzidos em F29 e F10 e as suas misturas, sem café. Para melhor leitura dos gráficos traçaram-se linhas verticais nas T_g dos materiais virgens (F29 – preto; F10 – cinzento) e compararam-se essas temperaturas com as dos compósitos de forma a perceber se existem desvios.

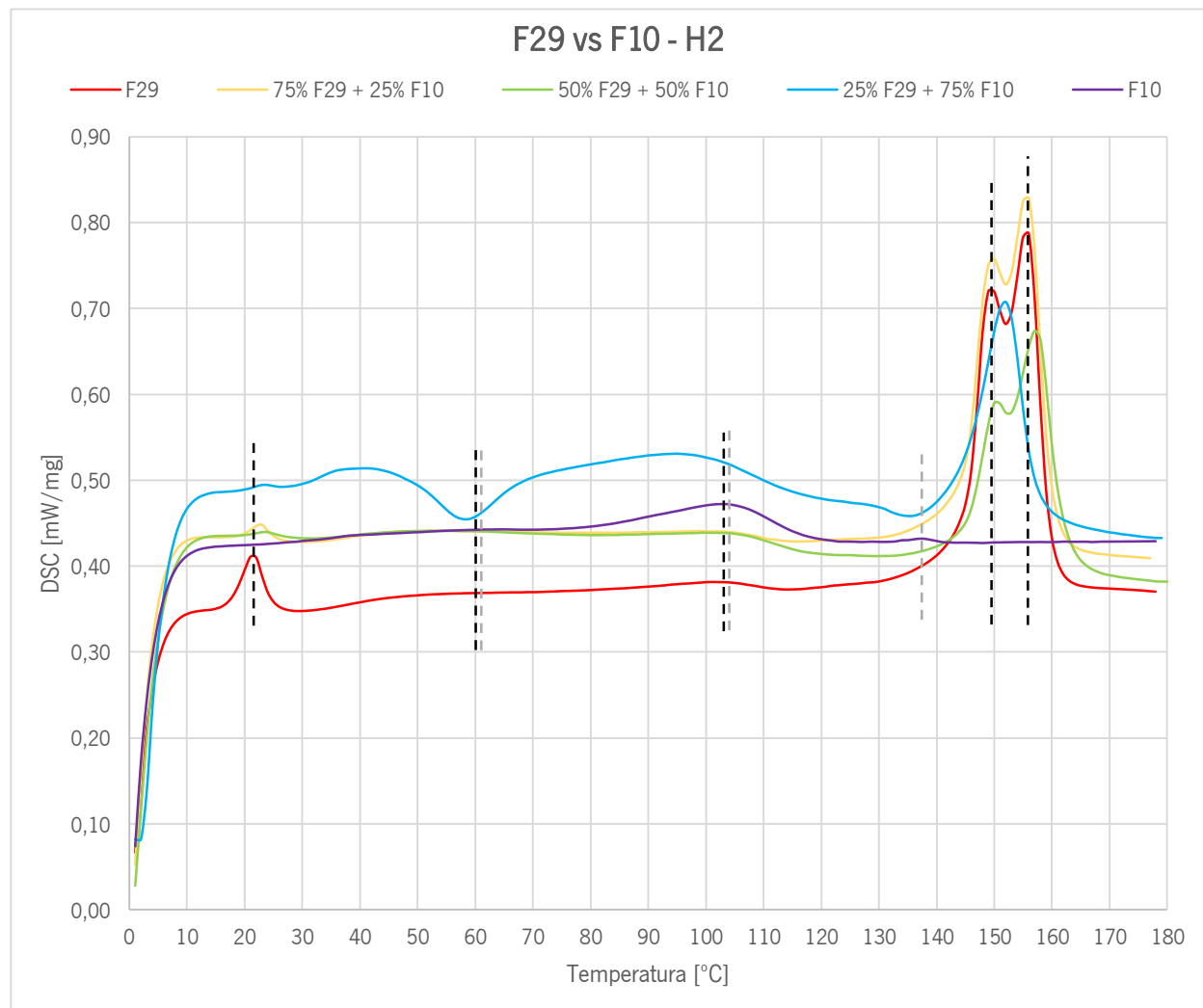


Figura 34 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 2º aquecimento do F29, do F10 e das suas misturas.

Na figura 34 verifica-se que as cinco T_g do F29 ocorrem a, aproximadamente, 20°C, 60°C, 105°C, 150°C e 155°C e que as três T_g do F10 acontecem a 60°C, 105°C e 135°C, sensivelmente. A amplitude do F10 é superior à do F29, sendo que os restantes materiais se podem organizar, por ordem decrescente, da seguinte forma: 25/75 > 75/25 > 50/50. No que diz respeito às T_g das misturas comparativamente à 1ª e 2ª do F29 e à 1ª do F10, verifica-se que há um desvio das T_g para valores intermédios às dos materiais virgens, o que indica que é possível ter existido

compatibilidade entre eles. Olhando para as restantes temperaturas de todos os compósitos, consegue-se verificar que de facto, estes têm tendência a desviarem-se para valores de T_g intermédios aos dos virgens, o que valida que pode existir forte interação entre eles.

4.1.3. Teste de Resistência à Degradação em Água

A tabela 1 representa os valores da massa inicial m_0 e da massa final m_{30} , em gramas, das amostras P1 e P2 de compósitos produzidos em F29 e F10 e das suas misturas sem café, para melhor compreensão da evolução da massa das mesmas. Nas figuras 35 e 36 apresenta-se a variação dos valores da massa, em percentagem, dessas mesmas amostras ao longo de 30 dias.

Nas figuras 37, 38, 39, 40 e 41, apresentam-se fotografias que representam a evolução do aspeto visual das amostras dos compósitos produzidos em F29 e F10 e das suas misturas sem café, quando imersas em água durante 0, 10, 20 e 30 dias. Estas figuras servem para perceber a evolução do aspeto visual das amostras ao longo dos 30 dias de ensaio.

Tabela 1 – Massas inicial e final, em gramas, e variação da massa, em percentagem, das amostras P1 e P2 de F29 e F10 e das suas misturas, sem café.

	P1			P2		
	m_0	m_{30}	Δm_t	m_0	m_{30}	Δm_t
F29	3,5	3,6	2,6	3,5	3,6	2,8
75% F29 + 25% F10	3,8	3,8	0,1	3,6	3,7	2,1
50% F29 + 50% F10	3,9	4,1	4,3	3,7	3,9	3,4
25% F29 + 75% F10	3,9	4,2	5,2	3,4	3,7	6,6
F10	3,7	4,0	8,9	3,7	4,0	6,7

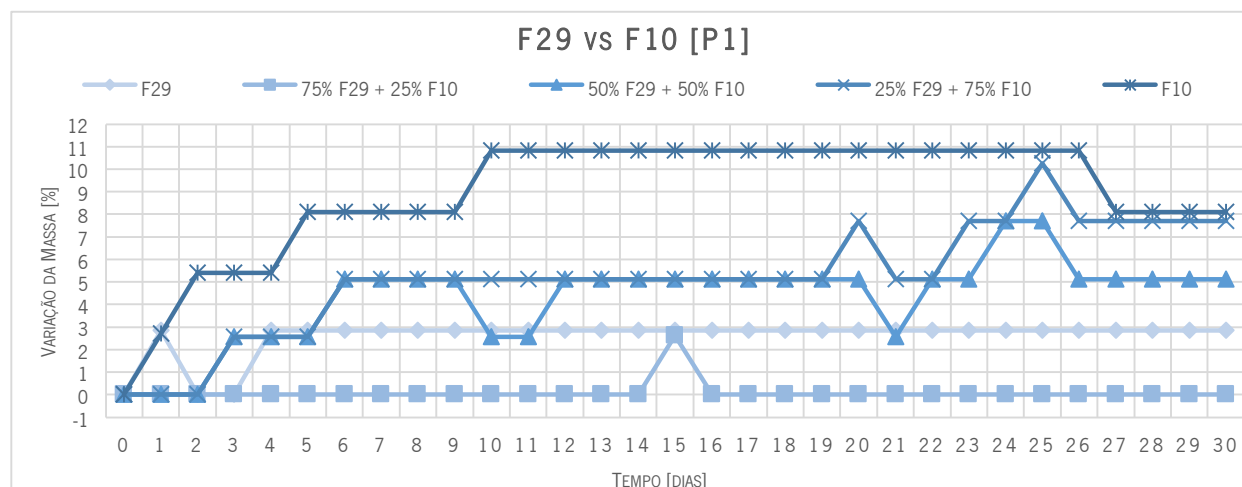


Figura 35 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P1 de F29 e F10 e das suas misturas.

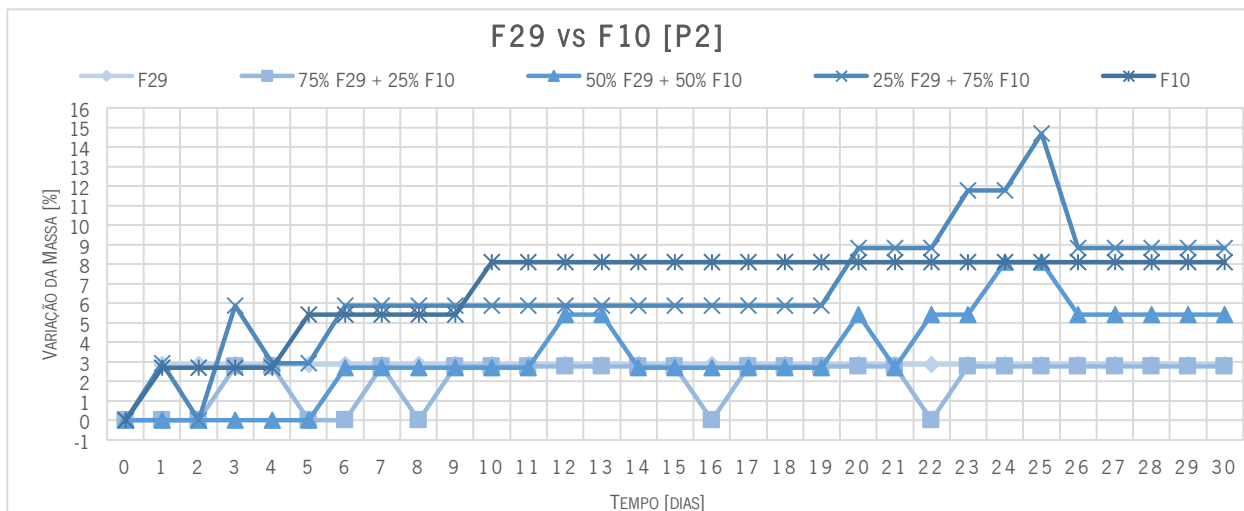


Figura 36 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P2 de F29 e F10 e das suas misturas.

Ao observar a tabela 1 em conjunto com as figuras 35 e 36 é possível verificar que, ao fim de 30 dias a variação de peso para o F29 é cerca de 3%, enquanto que para o F10 essa variação é de cerca de 10%. As misturas dos dois centram-se tendencialmente entre esses limites, com variações de cerca de 4%, 6% e 8%. Verifica-se ainda que as grandes variações aconteceram até cerca dos 10 dias, posteriormente saturam e mantêm-se tendencialmente constantes a partir daí.

F29 virgem

Na figura 37 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos em F29 virgem correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

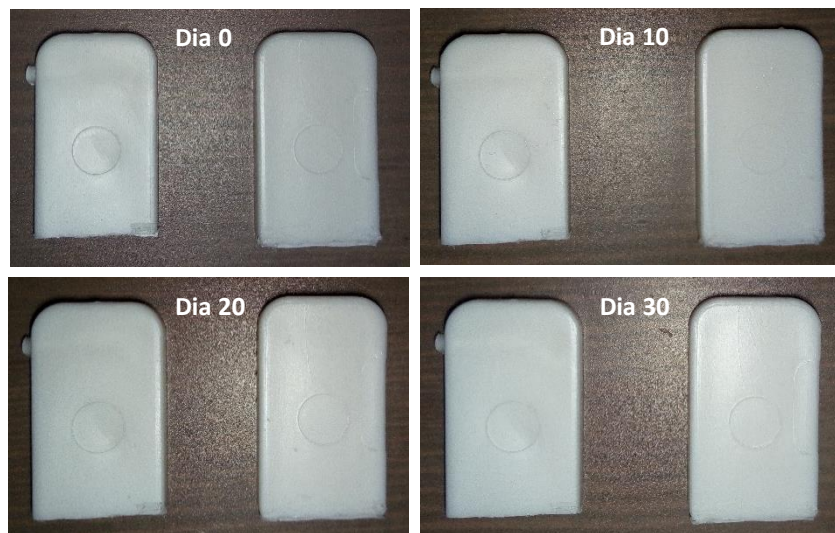


Figura 37 – Fotografias das amostras dos compósitos de F29 virgem, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 37 é possível perceber que não houve alteração nenhuma no aspeto visual das amostras de F29 ao longo dos 30 dias de imersão.

75% F29 + 25% F10

Na figura 38 podem analisar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 75% F29 + 25% F10 correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

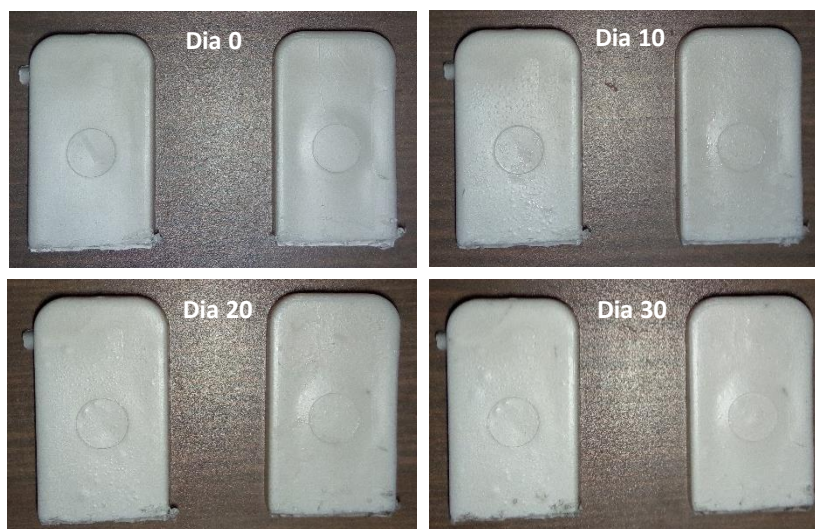


Figura 38 – Fotografias das amostras dos compósitos de 75% F29 + 25% F10, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 38 verifica-se que no dia 10 de imersão são notórias pequenas bolhas esparsas de forma relativamente regular na superfície das amostras. No dia 20 as amostras apresentam algumas bolhas maiores dispersas na sua superfície. No último dia de imersão as amostras exibem bolhas mais proeminentes e espalhadas pela sua superfície.

50% F29 + 50% F10

Na figura 39 podem analisar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 50% F29 + 50% F10 correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

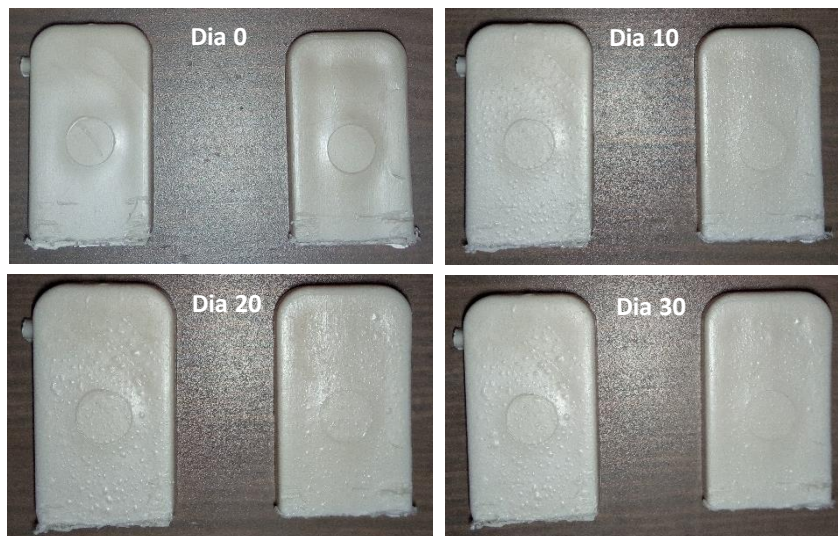


Figura 39 – Fotografias das amostras dos compósitos de 50% F29 + 50% F10, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 39 percebe-se que no dia 10 de imersão são evidentes bolhas pequenas espalhadas de forma relativamente uniforme na superfície das amostras. No dia 20 as amostras exibem essas mesmas bolhas dispersas, mas maiores. No dia 30 de imersão as amostras apresentam algumas bolhas mais salientes e esparsas pela sua superfície.

25% F29 + 75% F10

Na figura 40 podem analisar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 25% F29 + 75% F10 correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

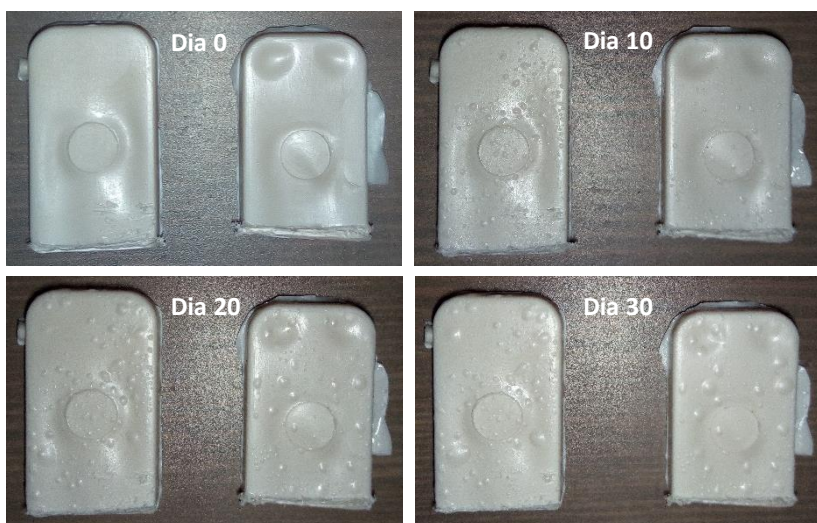


Figura 40 – Fotografias das amostras dos compósitos de 25% F29 + 75% F10, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 40 observa-se que no dia 10 de imersão são visíveis algumas bolhas dispersas irregularmente na superfície das amostras. No dia 20 as amostras têm várias bolhas grandes irregularmente espalhadas na sua superfície. No último dia as amostras apresentam várias bolhas mais proeminentes e esparsas irregularmente na sua superfície.

F10 virgem

Na figura 41 podem analisar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com F10 virgem correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

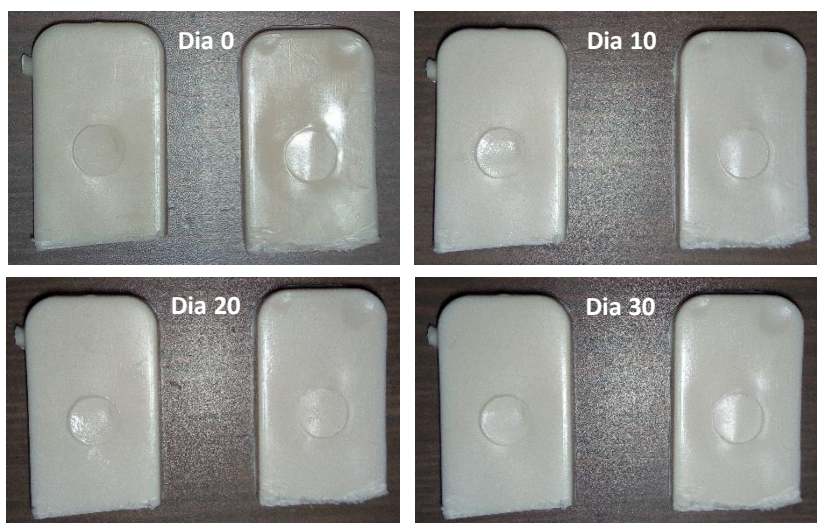


Figura 41 – Fotografias das amostras dos compósitos de F10 virgem, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 41 é possível perceber que não houve alteração nenhuma no aspeto visual das amostras de F10 ao longo dos 30 dias de imersão.

4.2. Caracterização dos Materiais com Café

4.2.1. Caracterização Mecânica

Resistência ao Impacto

As figuras 42, 43, 44 e 45 apresentam a variação dos valores médios de resistência ao impacto entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, F29 e F10 e as suas misturas com diferentes percentagens de borras de café (5% e 40%). Os gráficos representativos de todos os valores individuais de resistência ao impacto, dos 200 provetes, situam-se no Anexo D1.

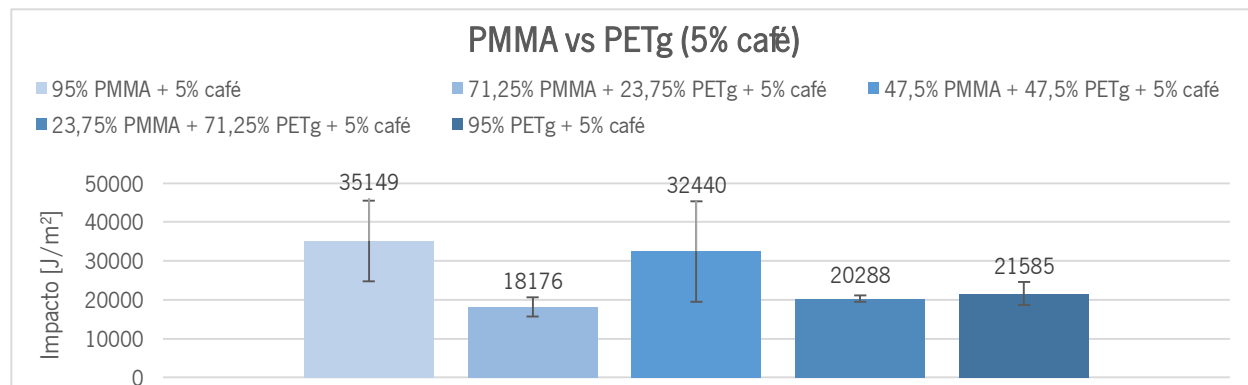


Figura 42 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 5% café.

Na figura 42 é possível observar que cada mistura de PMMA e PETg com 5% de café tem um comportamento distinto. As misturas 71,25/23,75/5 e 23,75/71,25/5 café estão relativamente próximas do valor de resistência do PETg com 5% café mas bastante abaixo do valor do PMMA com 5% café. Já a mistura de 47,5/47,5/5 café tem quase a mesma resistência que o PMMA com 5% café e, portanto, maior resistência que o PETg com 5% café. O PMMA com 5% café tem um valor de resistência ao impacto de 35149 J/m², que é superior ao do PETg com 5% café de 21585 J/m². As três misturas têm, em média, um valor de resistência ao impacto de 23635 J/m². Comparativamente ao PMMA com 5% café, as três misturas têm, em média, menos 33% de resistência ao impacto. Já relativamente ao PETg com 5% café, as três misturas têm, em média, mais 10% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um pouco variado com um desvio padrão de 7698 J/m² que equivale a 33%.

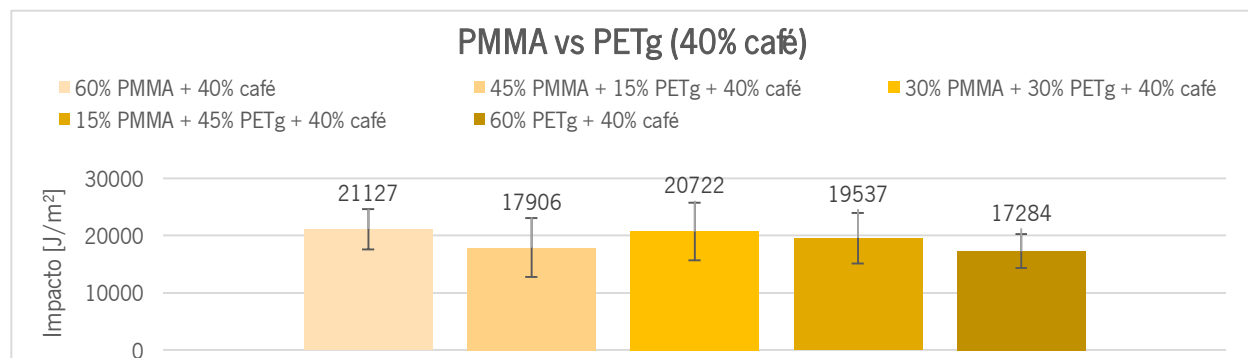


Figura 43 – Variação média da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 40% café.

Na figura 43 verifica-se que todas as misturas de PMMA e PETg com 40% de café tem um comportamento muito semelhante. O PMMA com 40% café tem um valor de resistência ao impacto de 21127 J/m², que é superior ao do PETg com 40% café de 17284 J/m². Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência ao impacto de 19389 J/m². Equiparando ao PMMA com 40% café, as três misturas têm, em média, apenas menos 8% de resistência ao impacto. Já comparativamente ao PETg com 40% café, as três misturas têm, em média, mais 12% de

resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 1414/m² que equivale a 7%.

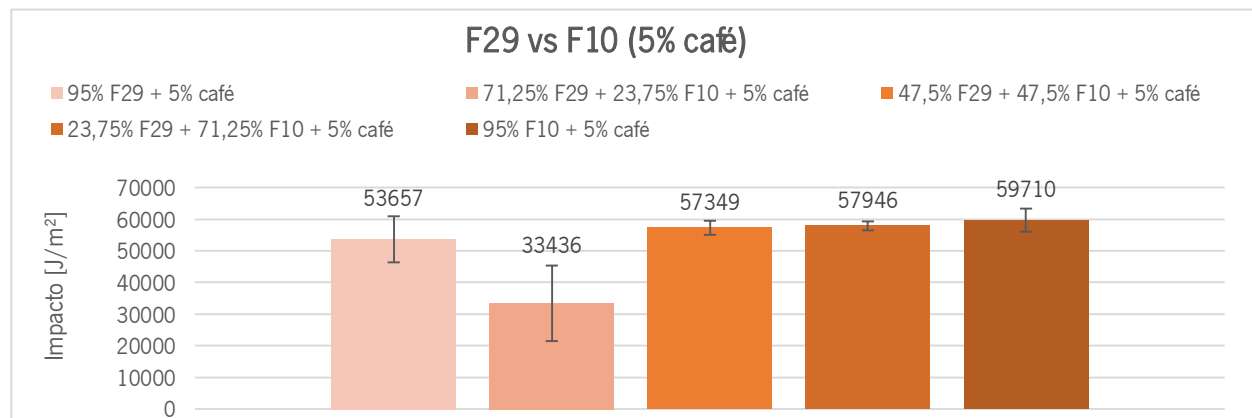


Figura 44 – Variação média de resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de misturas de F29 e F10 com 5% café.

Na figura 44 nota-se que cada mistura de F29 e F10 com 5% de café tem um comportamento semelhante. Os valores de resistência ao impacto das misturas 47,5/47,5/5 e 23,75/71,25/5 estão bastante próximos dos valores de resistência quer do F29 com 5% como do F10 com 5% café. Já o valor de resistência da mistura 71,25/23,75/5 está bastante abaixo dos valores obtidos nas restantes misturas. O F29 com 5% café tem um valor de resistência ao impacto de 53657 J/m², que é inferior ao do F10 com 5% café de 59710 J/m². Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência ao impacto de 49577 J/m². Comparativamente ao F29 com 5% café, as três misturas têm, em média, apenas menos 7% de resistência ao impacto. Já relativamente ao F10 com 5% café, as três misturas têm, em média, menos 16% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um pouco variado com um desvio padrão de 13982 J/m² que equivale a 28%.

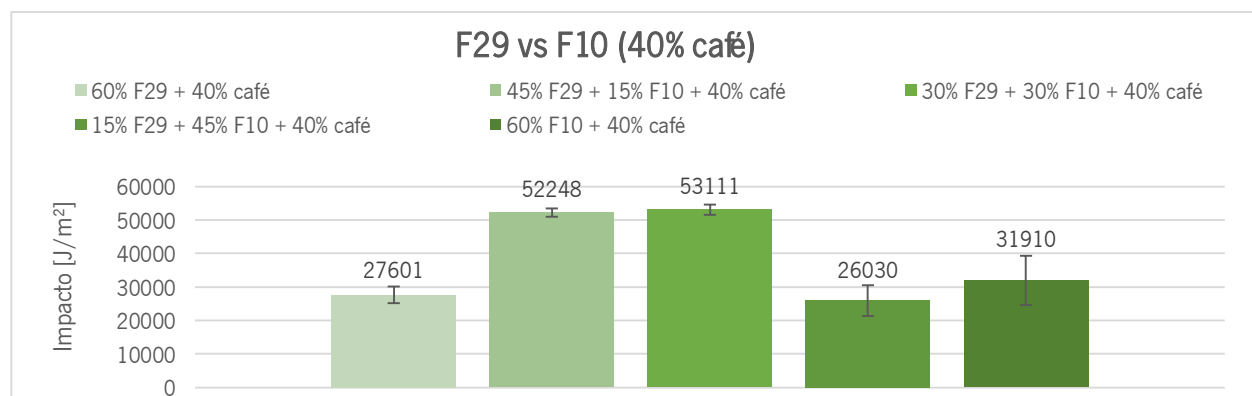


Figura 45 – Variação da média de resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de misturas de F29 e F10 com 40% café.

Na figura 45 é possível analisar que cada mistura de F29 e F10 com 40% de café tem um comportamento distinto. Os valores de resistência ao impacto das misturas 45/15/40 e 30/30/40 estão bastante acima dos valores

de resistência das restantes misturas. Já o valor de resistência da mistura 15/45/40 está um pouco abaixo do resto dos valores obtidos. O F29 com 40% café tem um valor de resistência ao impacto de 27601 J/m^2 , que é inferior ao do F10 com 40% café de 31910 J/m^2 . Já as três misturas têm, em média, um valor de resistência ao impacto de 43797 J/m^2 . Equiparando ao F29 com 40% café, as três misturas têm, em média, mais 59% de resistência ao impacto. Já comparando ao F10 com 40% café, as três misturas têm, em média, mais 37% de resistência. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um pouco variado com um desvio padrão de 15392 J/m^2 que equivale a 35%.

Tração

As figuras 46, 47, 48 e 49 apresentam os gráficos de tensão-deformação dos compósitos produzidos em PMMA, PETg, F29 e F10 e as suas misturas com diferentes percentagens de borras de café (5% e 40%). As figuras apresentam todos os provetes testados para cada material com o intuito de evidenciar a variação de resultados e, simultaneamente, mostrar potenciais transições entre comportamento dúctil/frágil e vice-versa. A escala do eixo dos y e dos x mantem-se constante para o conjunto de materiais.

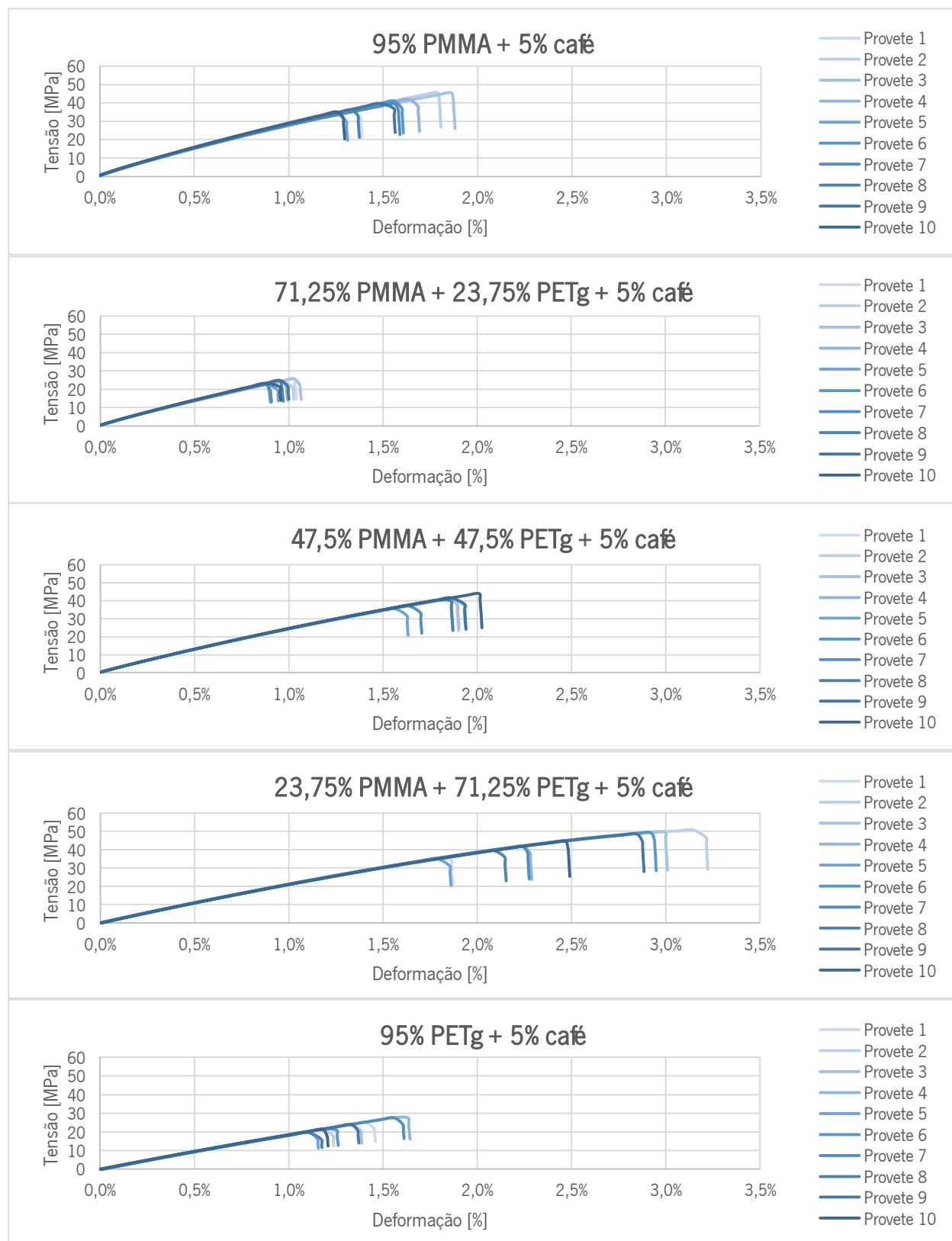


Figura 46 – Curvas de tração do PMMA com 5% café, das misturas de 71,25% PMMA + 23,75% PETg + 5% café, de 47,5% PMMA + 47,5% PETg + 5% café e de 23,75% PMMA + 71,25% PETg + 5% café e do PETg com 5% café, respectivamente.

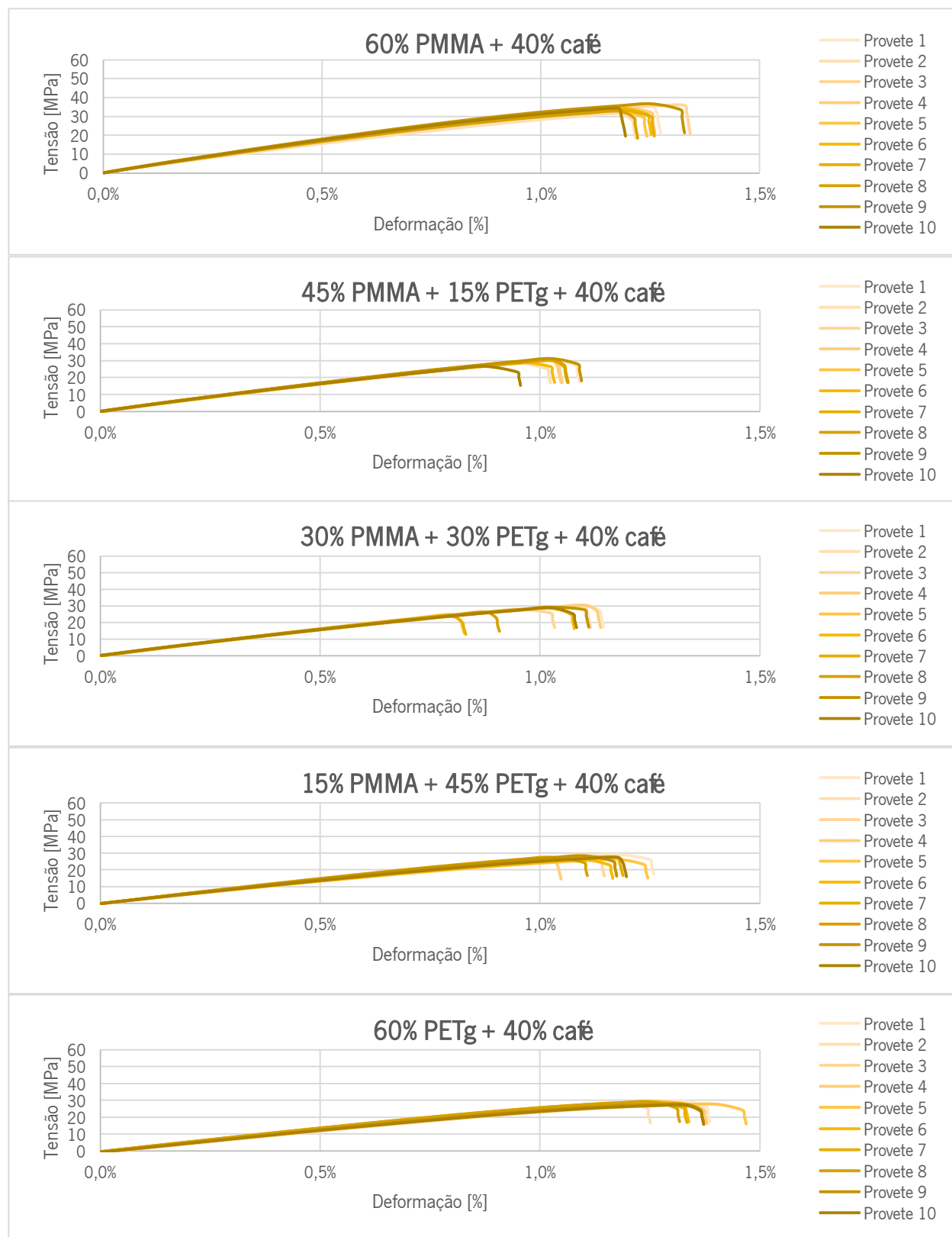


Figura 47 – Curvas de tração do PMMA com 40% café, das misturas de 45% PMMA + 15% PETg + 40% café, de 30% PMMA + 30% PETg + 40% café e de 15% PMMA + 45% PETg + 40% café e do PETg com 40% café, respectivamente.

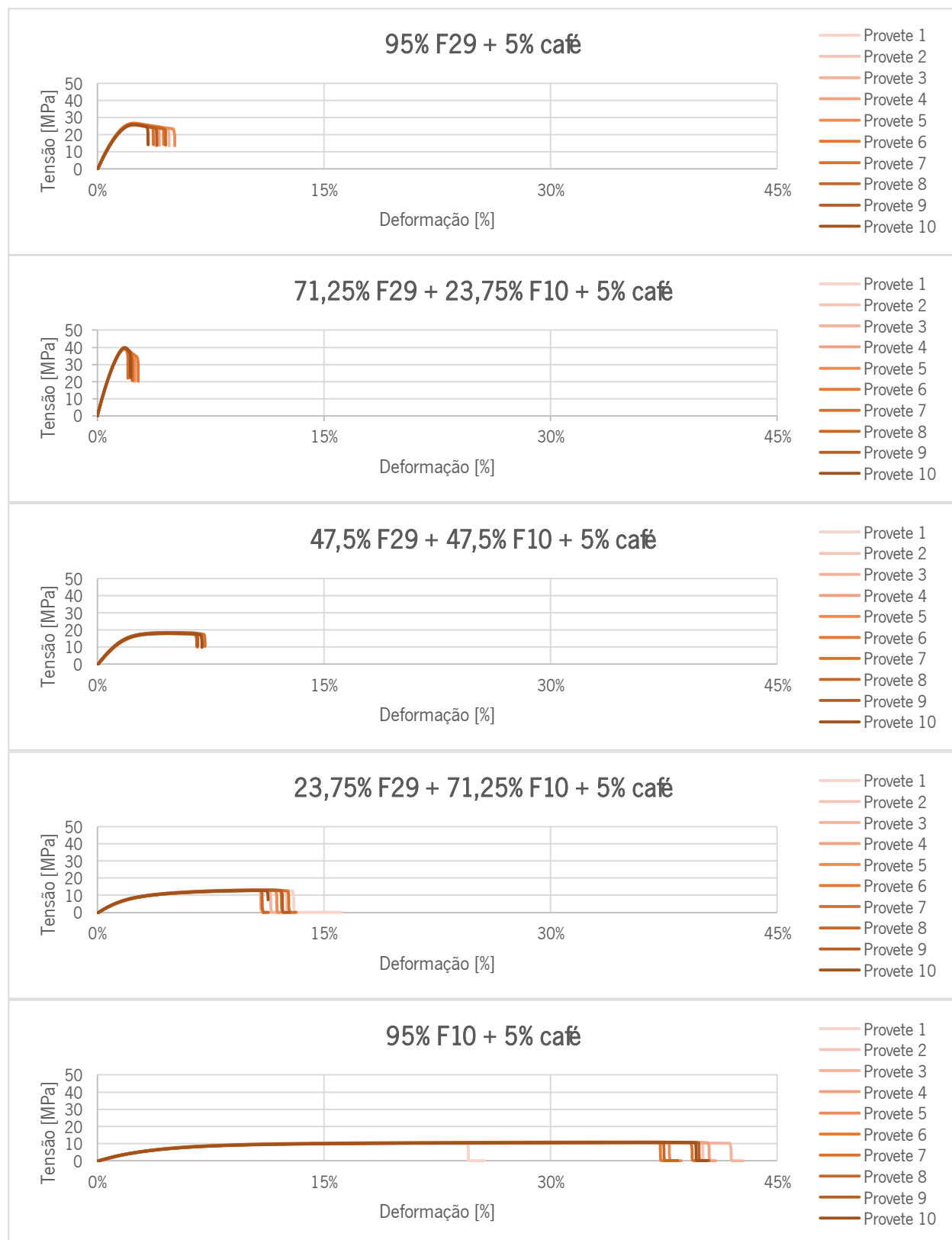


Figura 48 – Curvas de tração do F29 com 5% café, das misturas de 71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café, de 47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café e de 23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café e do F10 com 5% café, respetivamente.

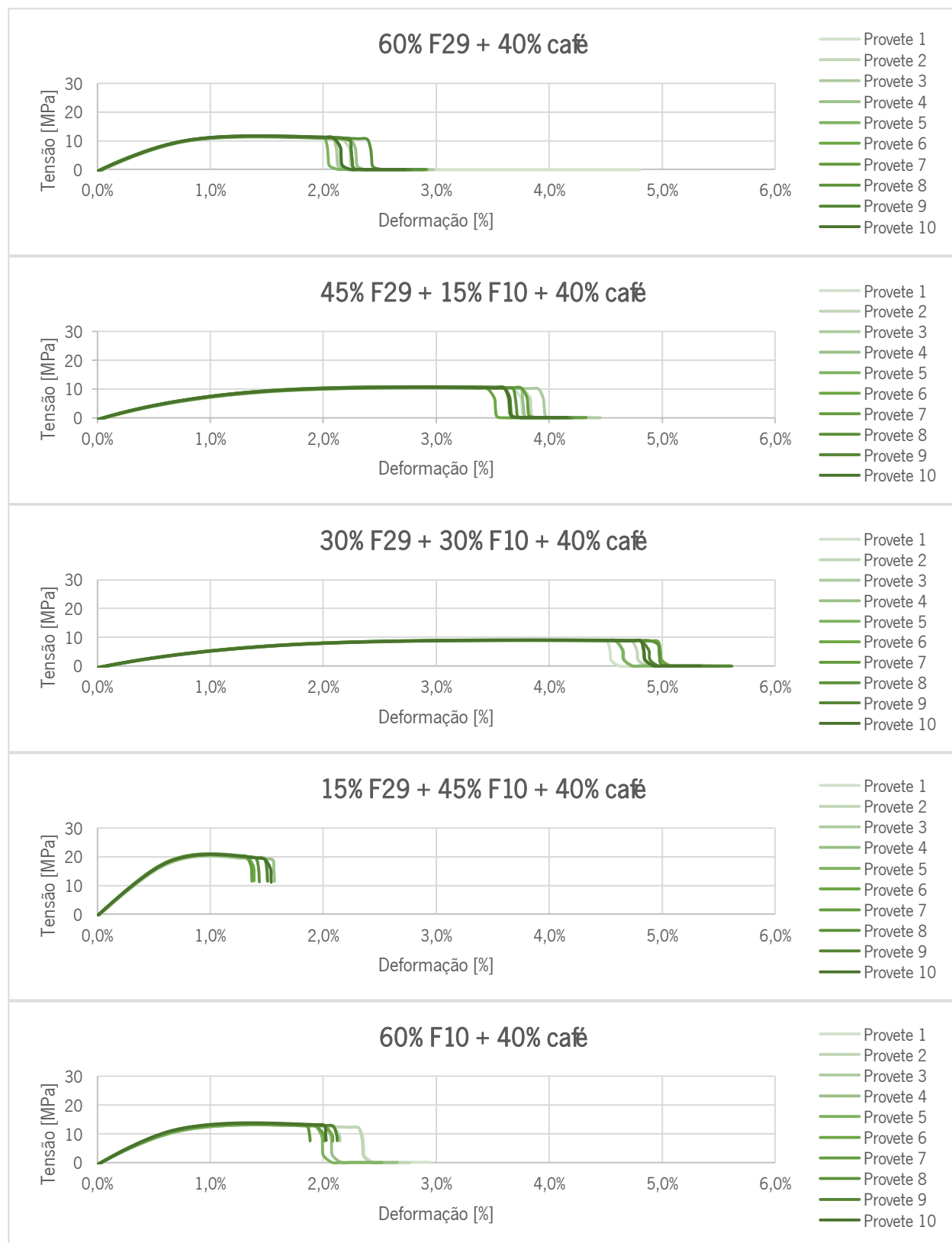


Figura 49 – Curvas de tração do F29 com 40% café, das misturas de 45% F29 + 15% F10 + 40% café, de 30% F29 + 30% F10 + 40% café e de 15% F29 + 45% F10 + 40% café e do F10 com 40% café, respetivamente.

Na figura 46 estão representados os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do PMMA com 5% café, do PETg com 5% café e das três misturas entre eles. Ao analisar a figura 46 é possível perceber que o PMMA com 5% café é um material frágil, pois deforma, em média, apenas 2% antes de partir com uma tensão média de 39 MPa. O PETg com 5% café é, também, um material frágil que deforma, em média, apenas 1% antes de quebrar com uma tensão média de 23 MPa. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão da tensão de rotura de 10 MPa que equivale a 29% e um desvio padrão da deformação à rotura de 1% que equivale a 44%.

Na figura 47 estão apresentados os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do PMMA com 40% café, do PETg com 40% café e das três misturas entre eles. Observando a figura 47 verifica-se que todas as misturas têm um comportamento muito semelhante. O PMMA com 40% café é um material frágil, pois deforma, em média, apenas 1% antes de partir com uma tensão média de 33 MPa. O PETg com 40% café é, também, um material frágil que deforma, em média, apenas 1% antes de quebrar com uma tensão média de 28 MPa. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente semelhante com um desvio padrão da tensão de rotura de 1 MPa que equivale a 4% e um desvio padrão da deformação à rotura de 0,07% que equivale a 7%.

Na figura 48 estão expostos os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do F29 com 5% café, do F10 com 5% café e das três misturas entre eles. Analisando a figura 48 confirma-se que tanto o F29 com 5% café como o F10 com 5% café são materiais dúcteis, sendo que o primeiro é o mais dúctil. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão da tensão de rotura de 12 MPa que equivale a 55% e um desvio padrão da deformação à rotura de 5% que equivale a 71%.

Na figura 49 estão retratados os gráficos obtidos através dos ensaios de tração do F29 com 40% café, do F10 com 40% café e das três misturas entre eles. Ao observar a figura 49 é possível entender que tanto o F29 com 40% café como o F10 com 40% café são materiais dúcteis que apresentam comportamentos bastante semelhantes. Assim, o F29 com 40% café deforma, em média, apenas 3% antes de partir com uma tensão média de 12 MPa. O F10 com 40% café deforma, em média, 2% antes de quebrar com uma tensão média de 13 MPa. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão da tensão de rotura de 6 MPa que equivale a 43% e um desvio padrão da deformação à rotura de 2% que equivale a 56%.

Tensão Máxima

Nas figuras 50, 51, 52 e 53 mostra-se a variação dos valores máximos de tensão em tração entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, ABS, F29 e F10 e as suas misturas, sem café. Os gráficos representativos de todos os valores individuais de tensão máxima, dos 200 provetes, situam-se no Anexo D2.

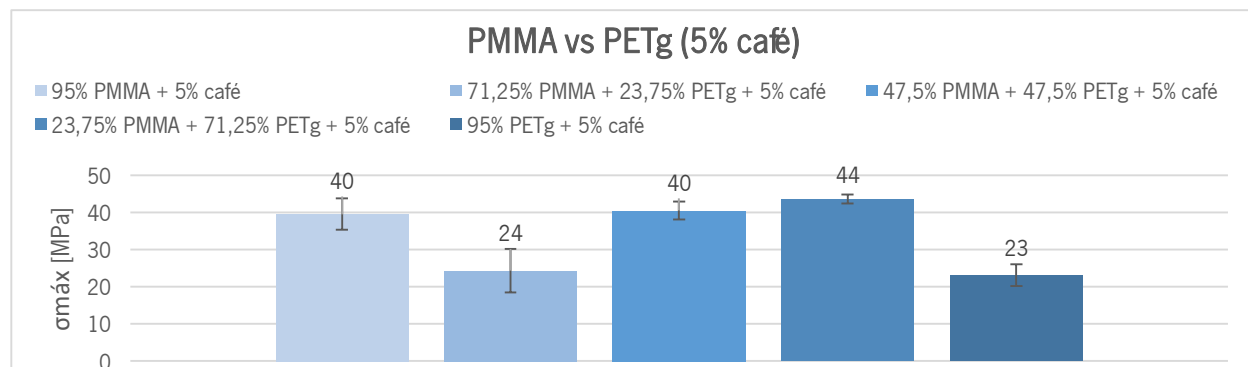


Figura 50 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 5% de café.

Na figura 50 é possível observar que as misturas 47,5/47,5/5 e 23,75/71,25/5 têm valores de tensão máxima semelhantes aos do PMMA com 5% café, já a mistura 71,25/23,75/5 tem uma tensão semelhante à do PETg com 5% café. O PMMA com 5% café tem uma tensão de 40 MPa, que é superior à do PETg com 5% café de 23 MPa. Já as três misturas têm, em média, uma tensão de 36 MPa. Comparativamente ao PMMA com 5% café, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 9%. Quando equiparadas ao PETg com 5% café, as três misturas têm, em média, uma tensão maior em 56%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento variado com um desvio padrão de 10 MPa que equivale a 29%.

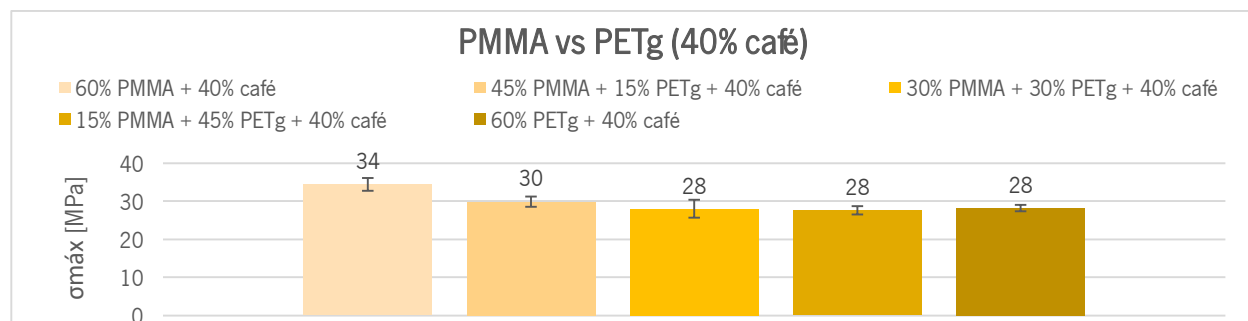


Figura 51 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 40% de café.

Na figura 51 verifica-se que tanto as três misturas de PMMA e PETg com 40% de café como os compósitos de PMMA com 40% café e do PETg com 40% café têm valores de tensão máxima semelhantes. O PMMA com 40% café tem uma tensão máxima de 34 MPa, que é superior à do PETg com 40% café de 28 MPa. Já as três misturas têm, em média, uma tensão máxima de 29 MPa. Relativamente ao PMMA com 40% café, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 17%. Quando comparadas ao PETg com 40% café, as três misturas têm, em média, uma

tensão máxima maior em 1%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 1,2 MPa que equivale a 4%.

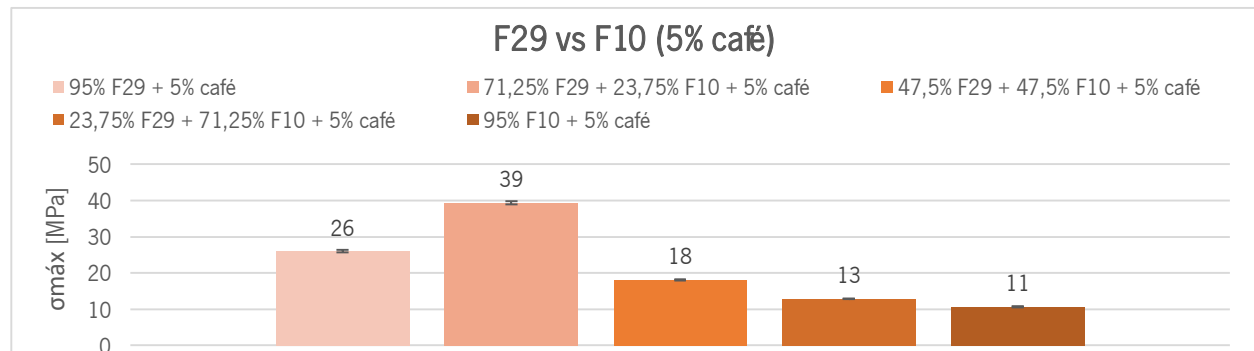


Figura 52 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 5% de café.

Na figura 52 nota-se que as três misturas do F29 e F10 com 5% de café têm valores de tensão máxima variados. O F29 com 5% café tem tensão máxima de 26 MPa, superior à do F10 com 5% café de 11 MPa. As misturas 47,4/47,4/5 e 23,75/71,25/5 estão dentro do que seria de esperar, sendo que à medida que a mistura tem mais F10, a tensão máxima diminui e ambos os valores médios estão dentro do intervalo do F29 com 5% café e do F10 com 5% café. No entanto, a mistura 71,25/23,75/5 tem um comportamento anormal, visto que a tensão é bastante superior a qualquer outro valor obtido. As três misturas têm, em média, uma tensão máxima de 24 MPa. Quando equiparadas ao F29 com 5% café, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 10%. Comparativamente ao F10 com 5% café, as três misturas têm, em média, uma tensão menor em 121%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente variado com um desvio padrão de 14 MPa que equivale a 60%.

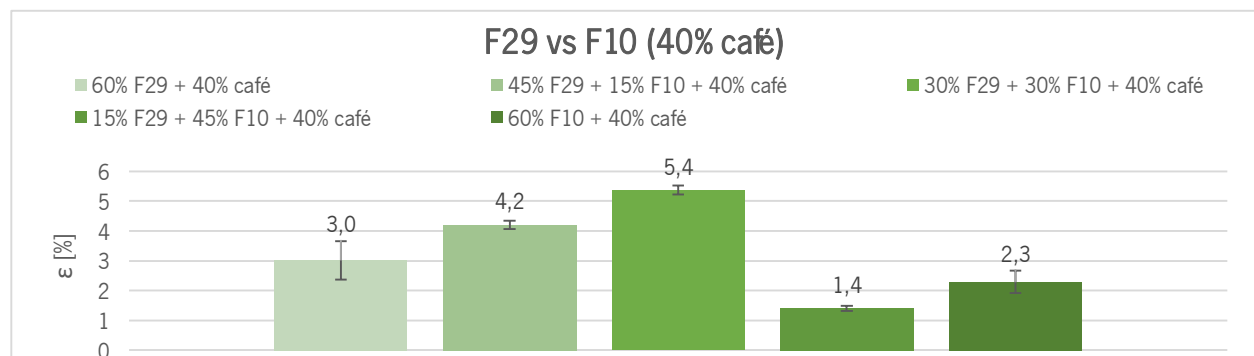


Figura 53 – Variação média da tensão máxima, em MPa, dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 40% de café.

Na figura 53 verifica-se que as três misturas do F29 e F10 com 40% café têm valores de tensão máxima bastante variados. O F29 com 40% café tem uma tensão máxima de 3 MPa, que é superior à do F10 com 40% café de 2,3 MPa, mas ao contrário do que seria de prever, nas misturas 45/15/40 e 30/30/40, à medida que a quantidade de F10 aumenta, a tensão também aumenta. No entanto, a mistura 15/45/40 tem uma tensão máxima

bastante elevada em comparação com os restantes. As três misturas têm, em média, uma tensão de 13 MPa. Comparativamente ao F29 com 40% café, as três misturas têm, em média, uma tensão máxima maior em 16%. Equiparando ao F10 com 40% café, as três misturas têm, em média, uma tensão maior em 0,2%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão de 6 MPa que equivale a 48%.

Módulo de Elasticidade

As figuras 54, 55, 56 e 57 mostram a variação dos valores do módulo de elasticidade em tração dos diferentes compósitos produzidos em PMMA, PETg, F29 e F10 e as suas misturas com diferentes percentagens de borras de café (5% e 40%). Os gráficos representativos de todos os valores individuais de módulo de elasticidade, dos 200 provetes, estão no Anexo D2.

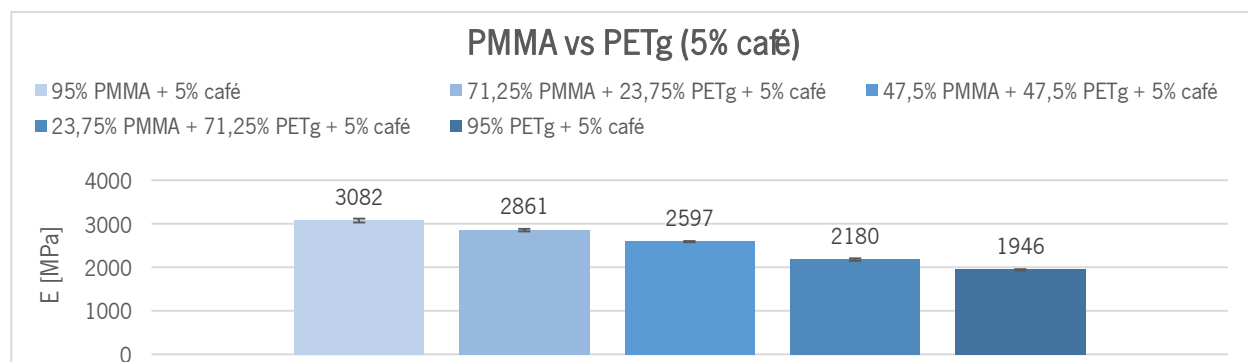


Figura 54 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 5% café.

Na figura 54 é possível observar que as três misturas do PMMA e PETg com 5% café têm valores de módulo de elasticidade perfeitamente intermédios aos do PMMA com 5% café e do PETg com 5% café. O PMMA com 5% café tem um módulo de 3082 MPa, que é superior ao do PETg com 5% café de 1946 MPa e, tal como seria de esperar, à medida que a quantidade de PETg aumenta nas misturas, o módulo diminui. Já as três misturas têm, em média, um valor do módulo de elasticidade de 2546 MPa. Comparativamente ao PMMA com 5% café, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade menor em 17%. Quando equiparadas ao PETg com 5% café, as três misturas têm, em média, um módulo maior em 31%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de 343 MPa que equivale a 13%.

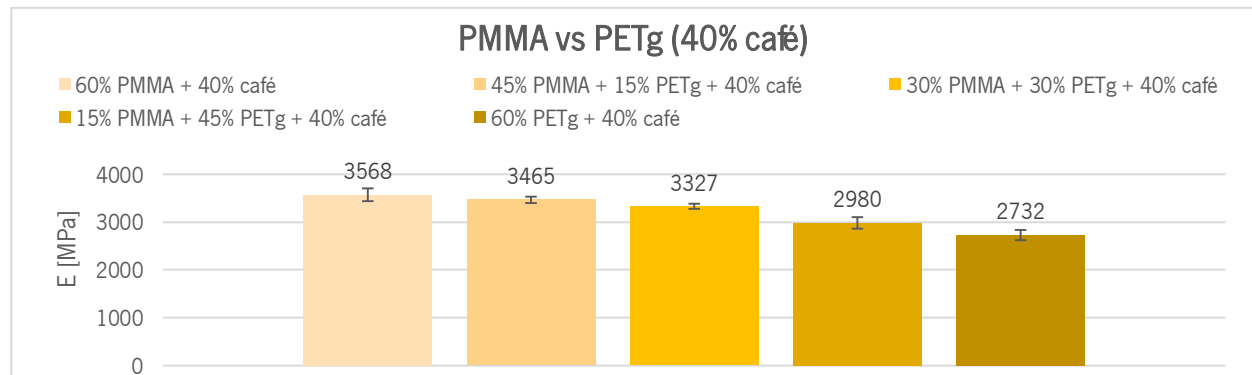


Figura 55 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 40% café.

Na figura 55 verifica-se que as três misturas de PMMA e PETg com 40% de café têm valores de módulo de elasticidade completamente intermédios aos do PMMA com 40% café e do PETg com 40% café. O PMMA com 40% café tem um módulo de elasticidade de 3568 MPa, que é superior ao do PETg com 40% café de 2732 MPa e, tal como seria de prever, à medida que a quantidade de PETg aumenta nas misturas, o módulo de elasticidade diminui. Já as três misturas têm, em média, um valor do módulo de elasticidade de 3257 MPa. Relativamente ao PMMA com 40% café, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade menor em 9%. Quando comparadas ao PETg com 40% café, as três misturas têm, em média, um módulo maior em 19%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante semelhante com um desvio padrão de apenas 250 MPa que equivale a 8%.

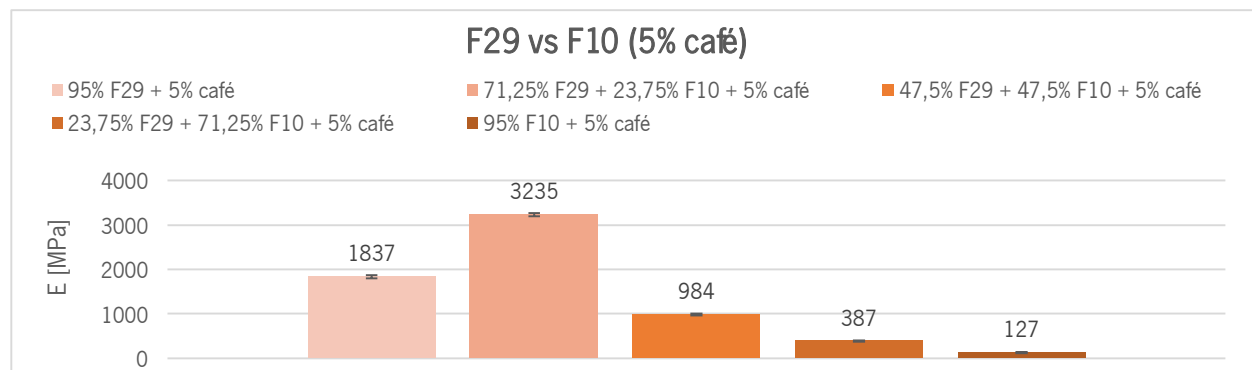


Figura 56 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 5% café.

Na figura 56 nota-se que as três misturas do F29 e F10 com 5% de café têm valores de módulo de elasticidade bastante variados. O F29 com 5% café tem um módulo de elasticidade de 1837 MPa, que é bastante superior ao do F10 com 5% café de 127 MPa. As misturas 47,4/47,4/5 e 23,75/71,25/5 estão dentro do que seria de esperar, sendo que à medida que a mistura tem mais F10, o módulo de elasticidade diminui e ambos os valores médios estão dentro do intervalo do F29 com 5% café e do F10 com 5% café. No entanto, a mistura 71,25/23,75/5 tem um comportamento anormal, visto que o módulo é extremamente superior a qualquer outro valor obtido. As três misturas

têm, em média, um valor do módulo de elasticidade de 1535 MPa. Quando equiparadas ao F29 com 5% café, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade menor em 16%. Comparativamente ao F10 com 5% café, as três misturas têm, em média, um módulo maior em 1112%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente variado com um desvio padrão de 1502 MPa que equivale a 98%.

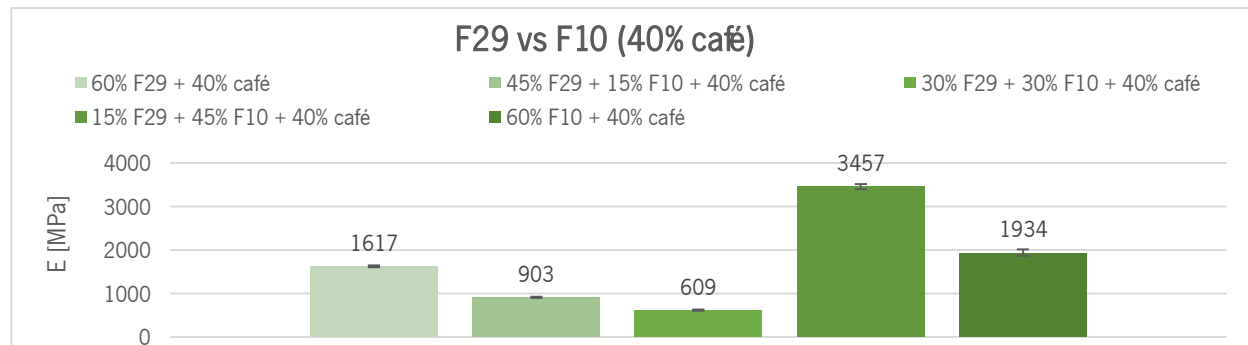


Figura 57 – Variação média do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 40% café.

Na figura 57 verifica-se que as três misturas do F29 e F10 com 40% café têm valores de módulo de elasticidade bastante variados. O F29 com 40% café tem um módulo de elasticidade inferior ao do F10 com 40% café, mas ao contrário do que seria de prever, nas misturas 45/15/40 e 30/30/40, à medida que a quantidade de F10 aumenta, o módulo de elasticidade diminui. No entanto, a mistura 15/45/40 tem um valor médio do módulo de elasticidade extremamente elevado em comparação com os restantes. As três misturas têm, em média, um valor do módulo de elasticidade de 1656 MPa. Comparativamente ao F29 com 40% café, as três misturas têm, em média, um módulo de elasticidade maior em 2%. Equiparando ao F10 com 40% café, as três misturas têm, em média, um módulo menor em 14%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente variado com um desvio padrão de 1566 MPa que equivale a 95%.

Deformação à Ruptura

As figuras 58, 59, 60 e 61 representam a variação dos valores médios da deformação à ruptura em tração entre os compósitos produzidos em PMMA, PETg, F29 e F10 e as suas misturas com diferentes percentagens de borras de café (5% e 40%). Os gráficos representativos de todos os valores individuais de deformação à ruptura, dos 200 provetes, encontram-se no Anexo D3.

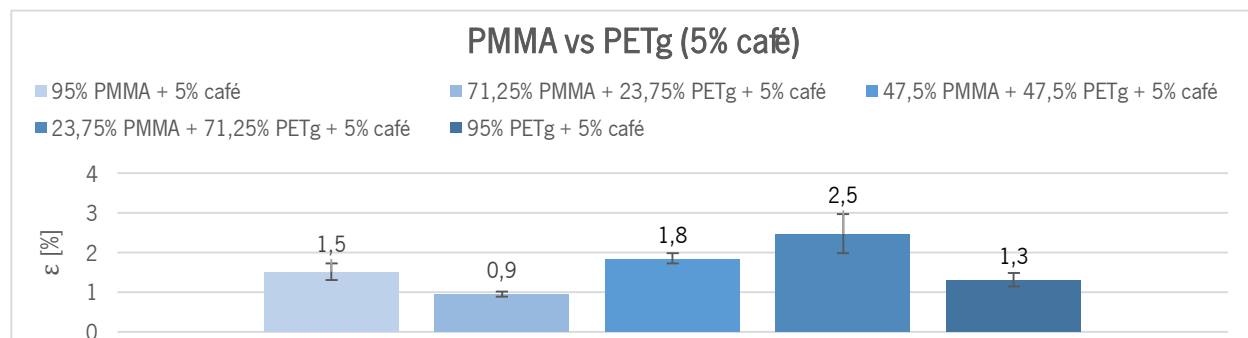


Figura 58 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 5% café.

Na figura 58 é possível observar que as três misturas do PMMA e PETg com 5% café têm valores de deformação à rotura bastante variados. O PMMA com 5% café tem uma deformação à rotura superior à do PETg com 5% café, mas ao contrário do que seria de esperar, à medida que a quantidade de PETg aumenta nas misturas, a deformação aumenta. Também é possível verificar que os valores médios da deformação das misturas 47,5/47,5/5 e 23,75/71,25/5 são bastante superiores a qualquer um dos outros valores. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 2%. Comparativamente ao PMMA com 5% café, as três misturas têm, em média, uma deformação à rotura maior em 16%. Quando equiparadas ao PETg com 5% café, as três misturas têm, em média, uma deformação maior em 34%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento bastante variado com um desvio padrão de 1% que equivale a 44%.

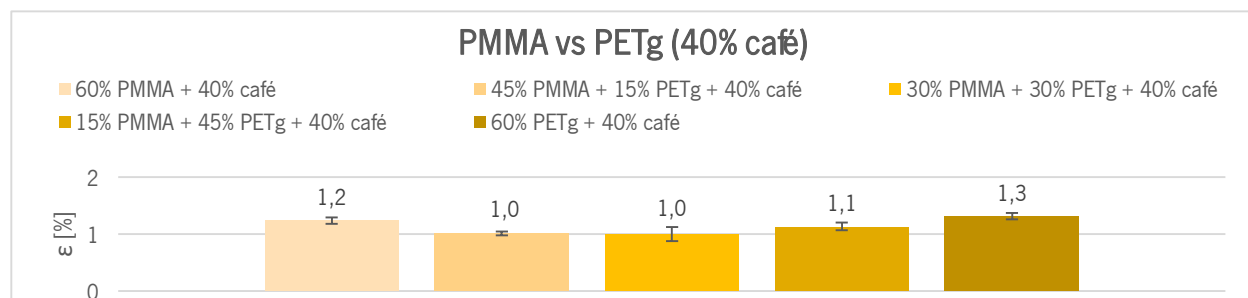


Figura 59 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de PMMA e PETg com 40% café.

Na figura 59 verifica-se que as três misturas do PMMA e ABS com 40% de café têm valores de deformação à rotura relativamente intermédios aos do PMMA com 40% café e do PETg com 40% café. O PMMA com 40% café tem uma deformação à rotura inferior à do PETg com 40% café, mas ao contrário do previsto a mistura 30/30/40 tem um valor de deformação menor do que os restantes valores. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 1%. Relativamente ao PMMA com 40% café, as três misturas têm, em média, uma deformação à rotura menor em 15%. Quando comparadas ao PETg com 40% café, as três misturas têm, em média, uma deformação menor em 20%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento extremamente semelhante com um desvio padrão de apenas 0,1% que equivale a 7%.

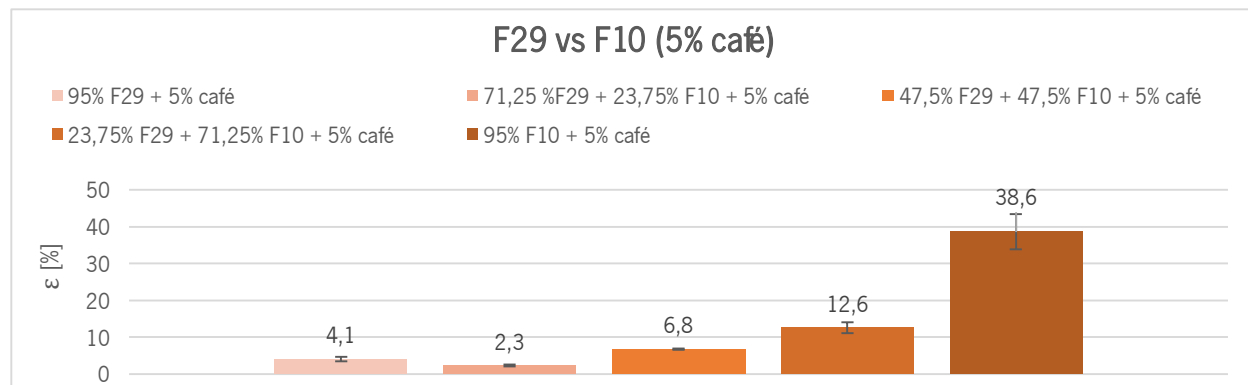


Figura 60 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 5% café.

Na figura 60 nota-se que as três misturas do F29 e F10 com 5% de café têm valores de deformação à rotura bastante intermédios aos do F29 com 5% café e do F10 com 5% café. O F29 com 5% café tem uma deformação à rotura extremamente inferior à do F10 com 5% café e, tal como seria de esperar, à medida que a quantidade de F10 aumenta nas misturas, a deformação à rotura também aumenta. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 7%. Quando equiparadas ao F29 com 5% café, as três misturas têm, em média, uma deformação à rotura maior em 77%. Comparativamente ao F10 com 5% café, as três misturas têm, em média, uma deformação menor em 81%. Entre elas, as três misturas têm um extremamente comportamento bastante variado com um desvio padrão de 5% que equivale a 71%.

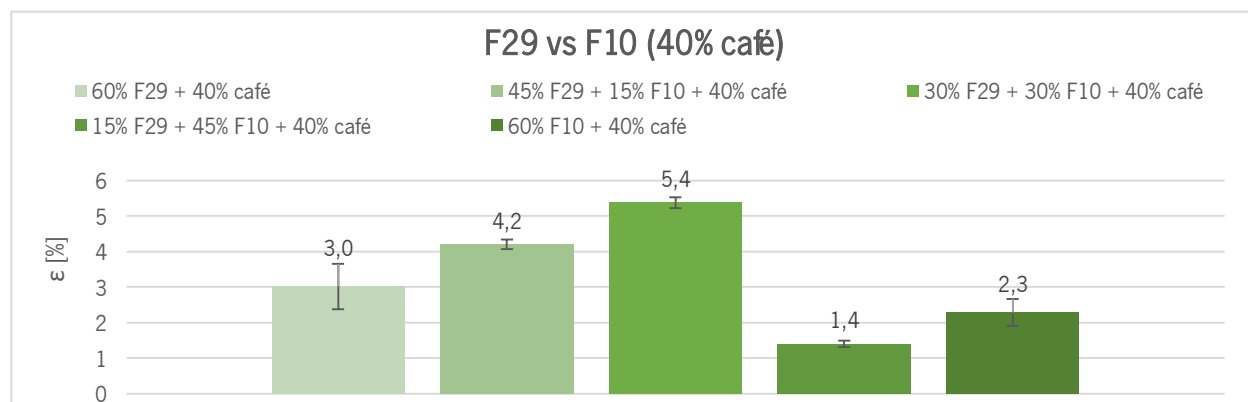


Figura 61 – Variação média da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de misturas de F29 e F10 com 40% café.

Na figura 61 verifica-se que as três misturas do F29 e F10 com 40% de café têm valores de deformação à rotura variados. O F29 com 40% café tem uma deformação à rotura inferior à do F10 com 40% café, mas as misturas têm todas comportamentos diferentes. A mistura de 30/30/40 tem um valor bastante superior a todos os outros. A mistura 45/15/40 tem um valor superior à do F29 com 40% café, o que não era de esperar. Já a mistura 15/45/40 tem o valor de deformação menor. Já as três misturas têm, em média, um valor de deformação à rotura de 4%. Comparativamente ao F29 com 40% café, as três misturas têm, em média, uma deformação maior em 21%.

Equiparando ao F10 com 40% café, as três misturas têm, em média, uma deformação maior em 60%. Entre elas, as três misturas têm um comportamento um bastante variado com um desvio padrão de 2% que equivale a 56%.

4.2.2. Teste de Resistência à Degradação em Água

5% café

A tabela 2 representa os valores da massa inicial m_0 e da massa final m_{30} , em gramas, das amostras P1 e P2 de compósitos produzidos em F29 e F10 virgens e das suas misturas com a introdução de 5% de borras de café. Nas figuras 62 e 63 apresentam-se a variação dos valores da massa, em percentagem, dessas mesmas amostras ao longo de 30 dias.

Nas figuras 64, 65, 66, 67 e 68, apresentam-se fotografias que representam a evolução do aspeto visual das amostras dos compósitos produzidos em F29 e F10 e das suas misturas com 5% de café, quando imersas em água durante 0, 10, 20 e 30 dias. Estas figuras servem para perceber a evolução do aspeto visual das amostras ao longo dos 30 dias de ensaio.

Tabela 2 – Massas inicial e final, em gramas, e variação da massa, em percentagem, das amostras P1 e P2 de F29 e F10 e das suas misturas, com 5% de café.

	P1			P2		
	m_0	m_{30}	Δm_t	m_0	m_{30}	Δm_t
95% F29 + 5% café	3,5	3,6	2,0	3,7	3,8	2,0
71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café	3,5	3,6	2,3	3,5	3,5	- 0,4
47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café	3,6	3,8	3,0	3,7	3,8	3,2
23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café	3,5	3,8	6,1	3,5	3,7	4,2
95% F10 + 5% café	3,6	3,9	7,8	3,5	3,9	9,7

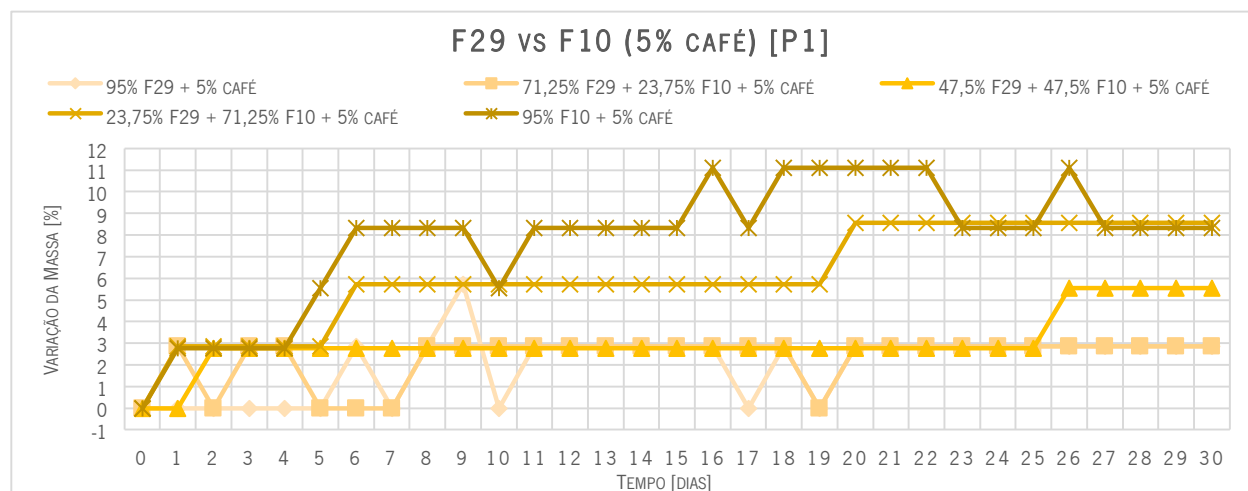


Figura 62 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P1 de F29 e F10 e das suas misturas com 5% de café.

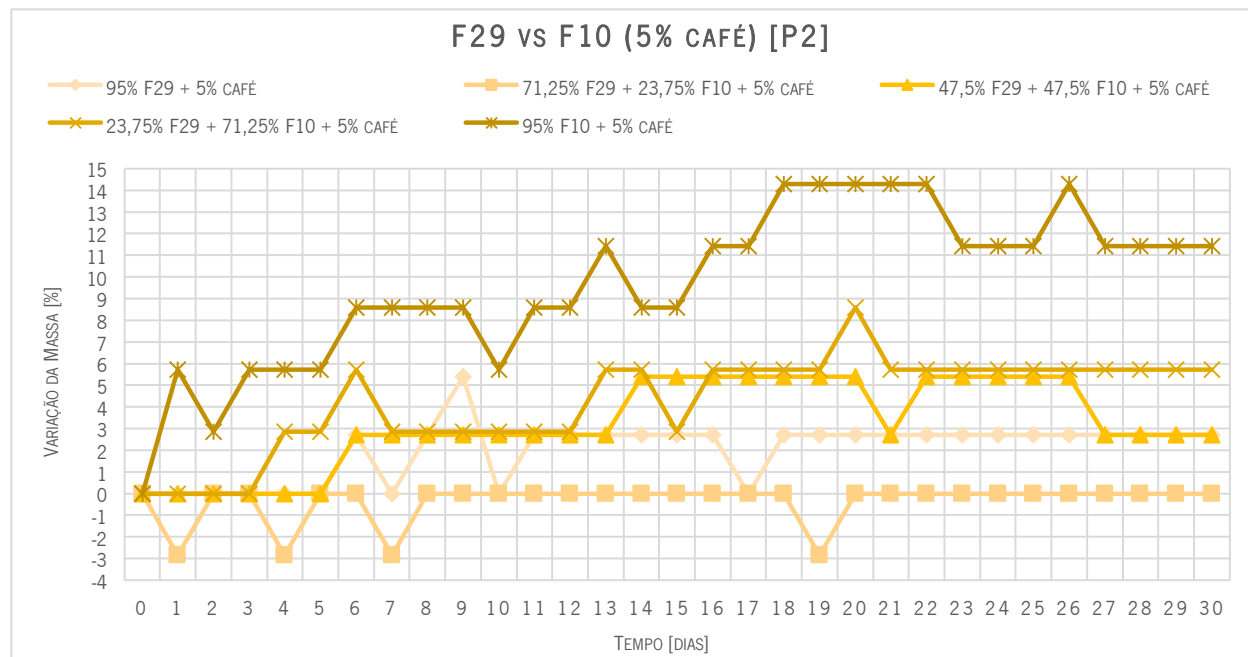


Figura 63 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P2 de F29 e F10 e das suas misturas com 5% de café.

Ao observar a tabela 2 em conjunto com as figuras 62 e 63 é possível verificar que, ao fim de 30 dias a variação de peso para o F29 com 5% de café é cerca de 2%, enquanto que para o F10 com 5% de café essa variação é de cerca de 9%. As misturas dos dois centram-se tendencialmente entre esses limites, com variações de cerca de 2%, 3% e 5%. Verifica-se ainda que as grandes variações aconteceram até cerca dos 16 dias, posteriormente saturam e mantêm-se tendencialmente constantes a partir daí.

95% F29 + 5% café

Na figura 64 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 95% F29 + 5% de café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.



Figura 64 – Fotografias das amostras dos compósitos de 95% F29 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 64 é possível perceber que no dia 10 de imersão são notórias algumas irregularidades na superfície das amostras e uma certa mudança de cor. No dia 20 as amostras apresentam algumas bolhas pequenas dispersas na sua superfície. No último dia de imersão as amostras exibem algumas bolhas mais proeminentes e espalhadas pela sua superfície.

71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café

Na figura 65 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.



Figura 65 – Fotografias das amostras dos compósitos de 71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 65 percebe-se que no dia 10 de imersão não são evidentes grandes mudanças na superfície das amostras, à exceção de algumas irregularidades. No dia 20 as amostras exibem algumas bolhas pequenas bastante dispersas. No dia 30 de imersão as amostras apresentam o mesmo aspeto visual do dia 20.

47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café

Na figura 66 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

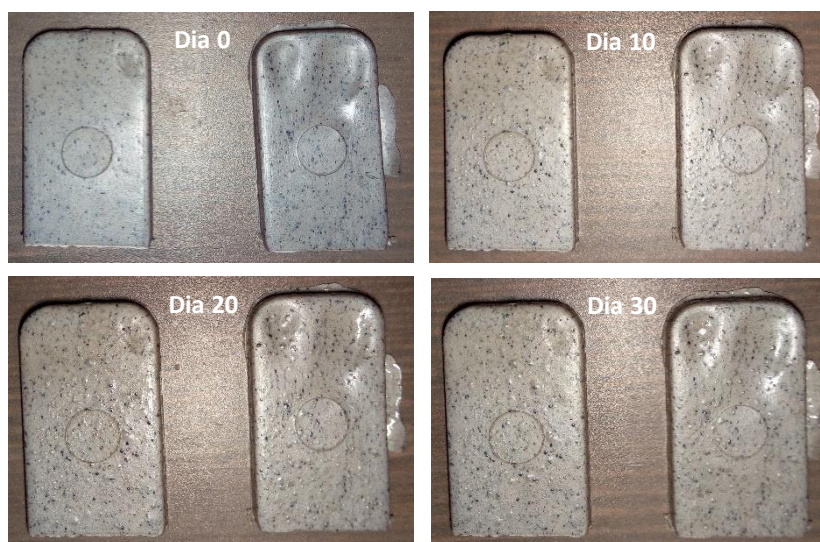


Figura 66 – Fotografias das amostras dos compósitos de 47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 66 observa-se que no dia 10 de imersão não são visíveis grandes mudanças na superfície das amostras, à exceção de algumas irregularidades e mudança de cor. No dia 20 as amostras têm várias bolhas pequenas espalhadas na sua superfície. No último dia as amostras apresentam várias bolhas pequenas e esparsas regularmente na sua superfície.

23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café

Na figura 67 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

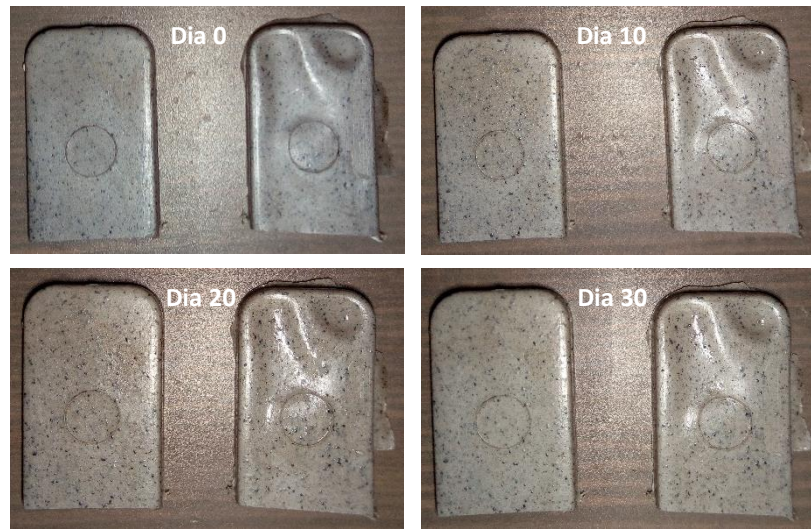


Figura 67 – Fotografias das amostras dos compósitos de 23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 67 é possível perceber que a única alteração no aspeto visual das amostras de 23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café ao longo dos 30 dias de imersão, é uma certa mudança de cor.

95% F10 + 5% café

Na figura 68 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 95% F10 + 5% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

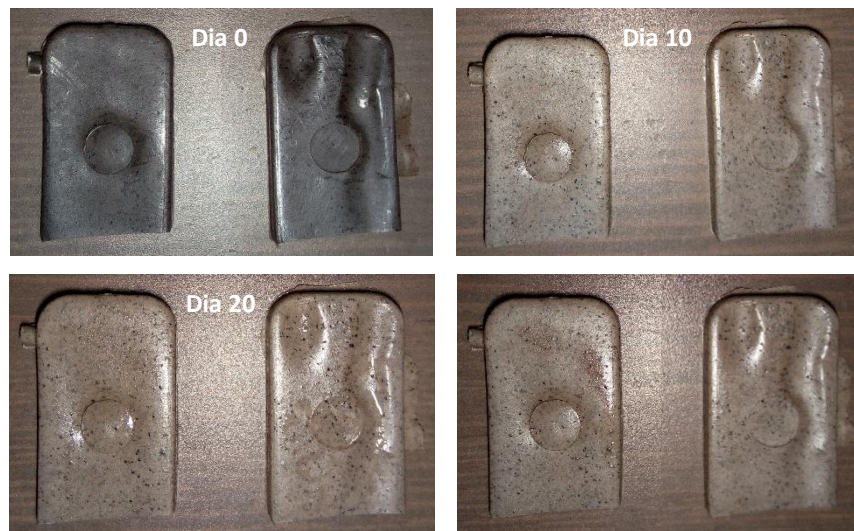


Figura 68 – Fotografias das amostras dos compósitos de 95% F10 + 5% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 68 verifica-se que no dia 10 de imersão é notória a descoloração das amostras, tornando-se mais evidentes as borras de café. No dia 20 as amostras apresentam alguma rugosidade na sua superfície. No dia 30 de imersão as amostras exibem a mesma descoloração e rugosidade na sua superfície.

40% café

A tabela 3 representa os valores da massa inicial m_0 e da massa final m_{30} , em gramas, das amostras P1 e P2 de compósitos produzidos em F29 e F10 virgens e das suas misturas com a introdução de 40% de borras de café. As figuras 69 e 70 apresentam a variação dos valores da massa, em percentagem, dessas mesmas amostras ao longo de 30 dias.

Nas figuras 71, 72, 73, 74 e 75, apresentam-se fotografias que representam a evolução do aspeto visual das amostras dos compósitos produzidos em F29 e F10 e das suas misturas com 40% de café, quando imersas em água durante 0, 10, 20 e 30 dias. Estas figuras servem para perceber a evolução do aspeto visual das amostras ao longo dos 30 dias de ensaio.

Tabela 3 – Massas inicial e final, em gramas, e variação da massa, em percentagem, das amostras P1 e P2 de F29 e F10 e das suas misturas, com 40% de café.

	P1			P2		
	m_0	m_{30}	Δm_t	m_0	m_{30}	Δm_t
60% F29 + 40% café	3,6	4,2	13,6	3,6	4,3	16,8
45% F29 + 15% F10 + 40% café	3,8	4,3	12,5	3,9	4,4	13,4
30% F29 + 30% F10 + 40% café	3,7	4,4	19,4	3,8	4,5	19,9
15% F29 + 45% F10 + 40% café	3,7	4,3	12,7	3,6	4,3	16,7
60% F10 + 40% café	3,8	4,4	13,0	3,9	4,5	12,8

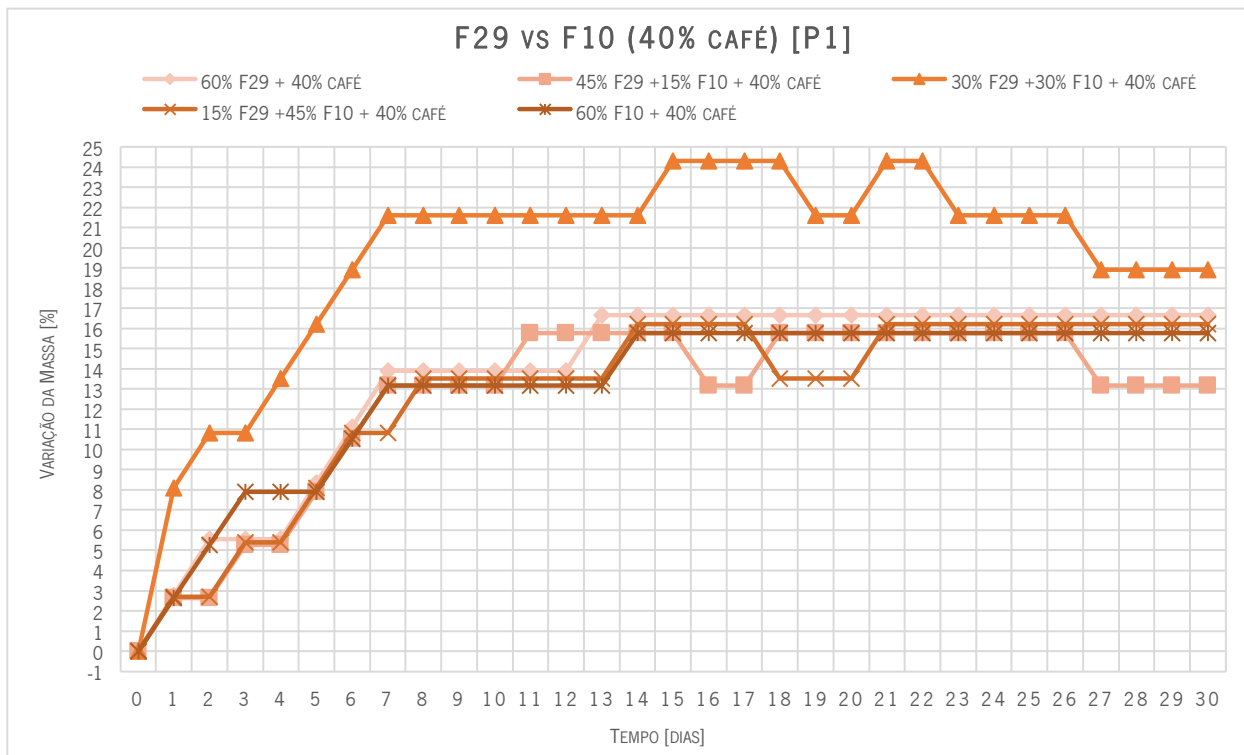


Figura 69 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P1 de F29 e F10 e das suas misturas com 40% de café.

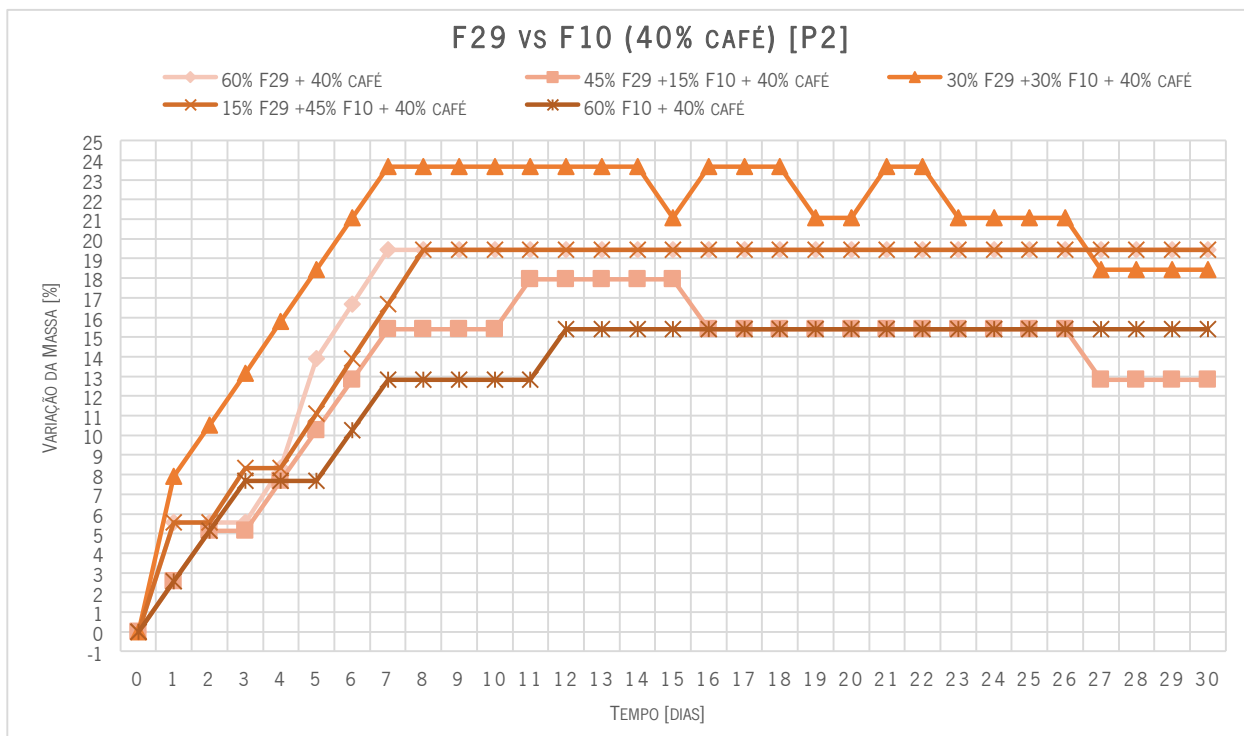


Figura 70 – Variação da massa, em percentagem, ao longo do período de imersão, em dias, das amostras P2 de F29 e F10 e das suas misturas com 40% de café.

Ao observar a tabela 3 em conjunto com as figuras 69 e 70 é possível verificar que, ao fim de 30 dias a variação de peso para o F29 com 40% de café é cerca de 15%, enquanto que para o F10 com 40% de café essa variação é de cerca de 13%. As misturas dos dois não se centram entre esses limites, com variações de cerca de 13%, 20% e 15%. Verifica-se ainda que as grandes variações aconteceram até cerca dos 7 dias, mantendo-se tendencialmente constantes a partir daí.

60% F29 + 40% café

Na figura 71 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos com 60% F29 + 40% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

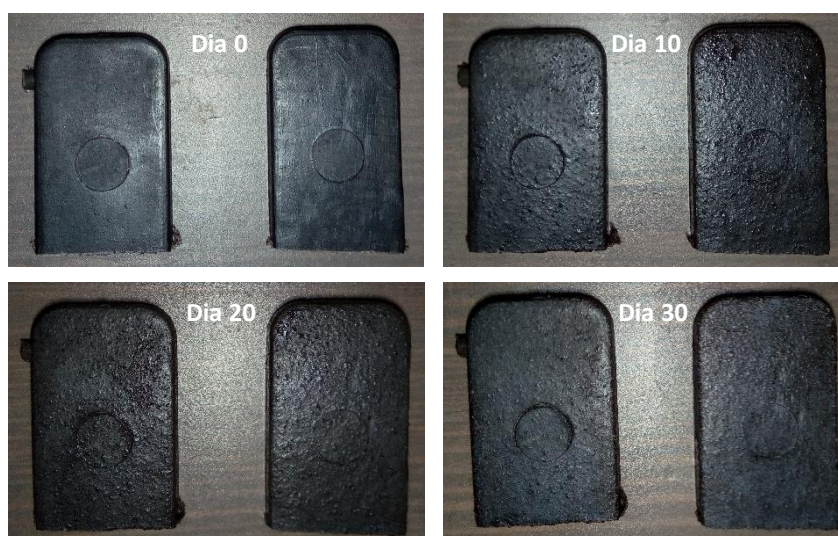


Figura 71 – Fotografias das amostras dos compósitos de 60% F29 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 71 verifica-se que no dia 10 de imersão são notórias pequenas rugosidades relativamente uniformes na superfície das amostras. No dia 20 as amostras apresentam essas rugosidades um pouco mais acentuadas. No último dia de imersão as amostras exibem as mesmas rugosidades do dia 20.

45% F29 + 15% F10 + 40% café

Na figura 72 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos 45% F29 + 15% F10 + 40% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

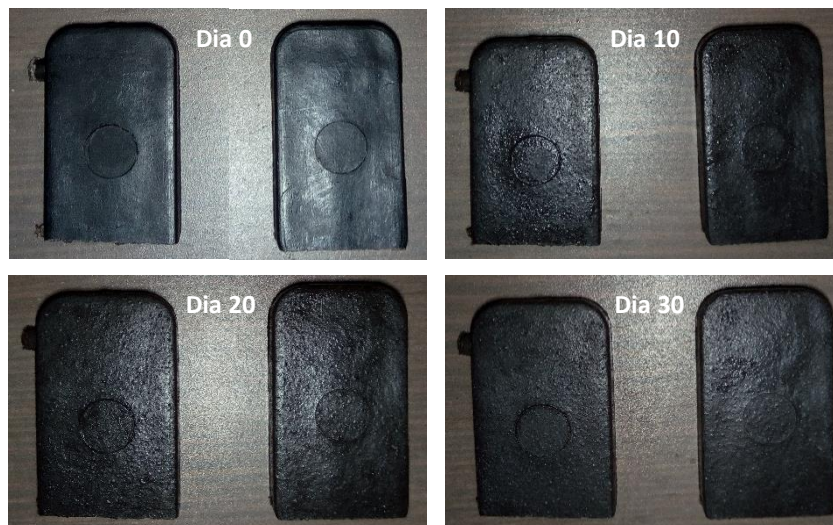


Figura 72 – Fotografias das amostras dos compósitos de 45% F29 + 15% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 72 percebe-se que no dia 10 de imersão são evidentes pequenas rugosidades relativamente uniformes na superfície das amostras. No dia 20 as amostras exibem essas mesmas rugosidades mas mais salientadas. No dia 30 de imersão as amostras apresentam as mesmas rugosidades do dia 20.

30% F29 + 30% F10 + 40% café

Na figura 73 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos 30% F29 + 30% F10 + 40% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

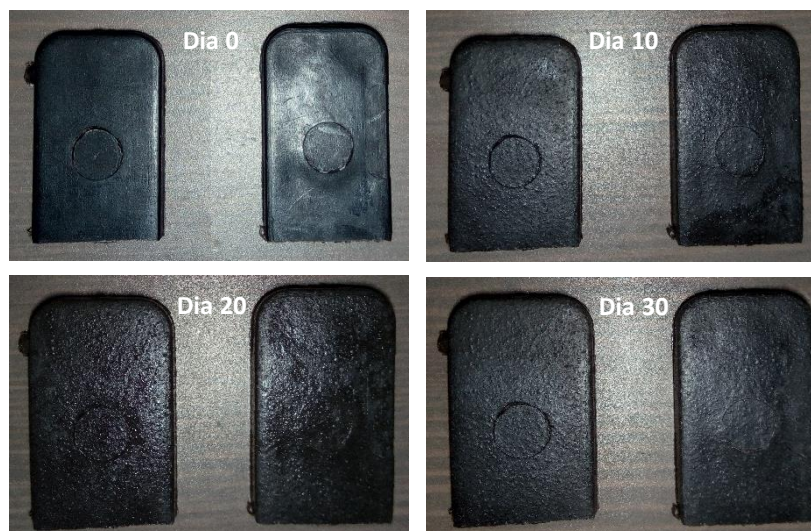


Figura 73 – Fotografias das amostras dos compósitos de 30% F29 + 30% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 73 observa-se que no dia 10 de imersão são visíveis pequenas rugosidades relativamente uniformes na superfície das amostras. No dia 20 as amostras têm essas rugosidades, mas mais acentuadas. No último dia as amostras apresentam as mesmas rugosidades do dia 20.

15% F29 + 45% F10 + 40% café

Na figura 74 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos 15F29 + 45% F10 + 40% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

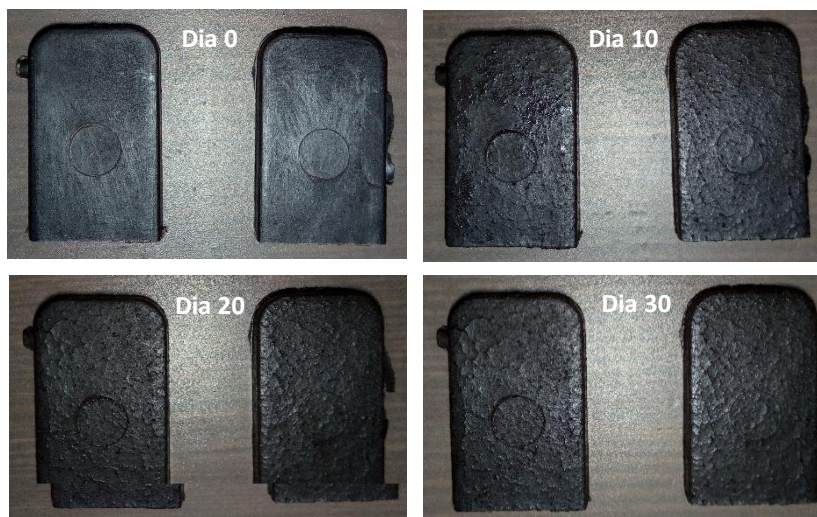


Figura 74 – Fotografias das amostras dos compósitos de 15F29 + 45% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 74 é possível perceber que são notórias pequenas rugosidades relativamente regulares na superfície das amostras e uma pequena fissura em cada uma delas. No dia 20 as amostras apresentam essas rugosidades um pouco mais salientadas tal como as fissuras mais profundas. No dia 30 de imersão as amostras exibem as mesmas rugosidades do dia 20 e a fissura ainda mais acentuada.

60% F10 + 40% café

Na figura 75 podem observar-se 4 fotografias das amostras dos compósitos produzidos 60% F10 + 40% café correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

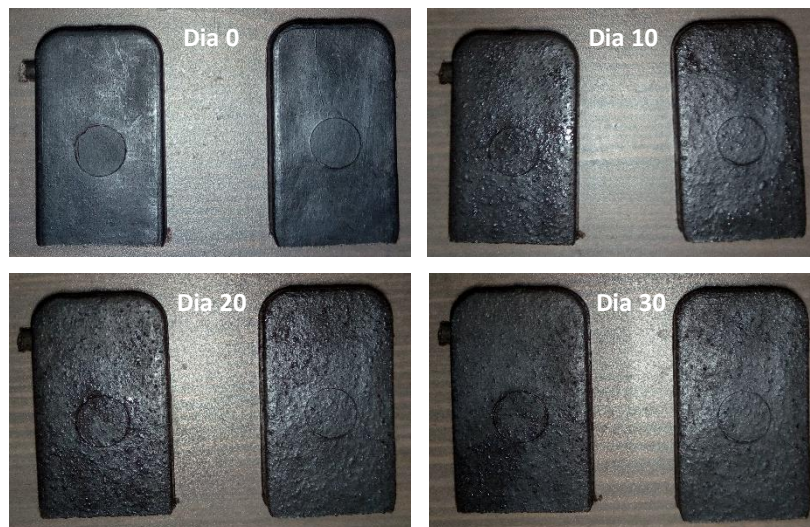


Figura 75 – Fotografias das amostras dos compósitos de 60% F10 + 40% café, correspondentes aos dias 0, 10, 20 e 30 de imersão em água.

Na figura 75 verifica-se que no dia 10 de imersão são evidentes pequenas rugosidades relativamente uniformes na superfície das amostras. No dia 20 as amostras exibem essas mesmas rugosidades, mas mais acentuadas. No último dia de imersão as amostras apresentam as mesmas rugosidades do dia 20.

4.3. Caracterização Mecânica de Todos os Materiais

Neste subcapítulo estão representados todos os valores médios gerais da resistência ao impacto, da tensão de rotura, do módulo de elasticidade e da deformação à rotura, para os materiais com pior e melhor compatibilidade, respetivamente, PMMA/PETg e F29/F10. Estes, têm como finalidade ajudar a comparar os valores obtidos nos diversos testes de caracterização mecânica, e facilitar a sua compreensão e análise para as conclusões finais.

4.3.1. PMMA vs PETg

Resistência ao Impacto

A figura 76 representa a variação média geral, em J/m^2 , de todos os resultados obtidos através dos ensaios de resistência ao impacto para o PMMA e PETg virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

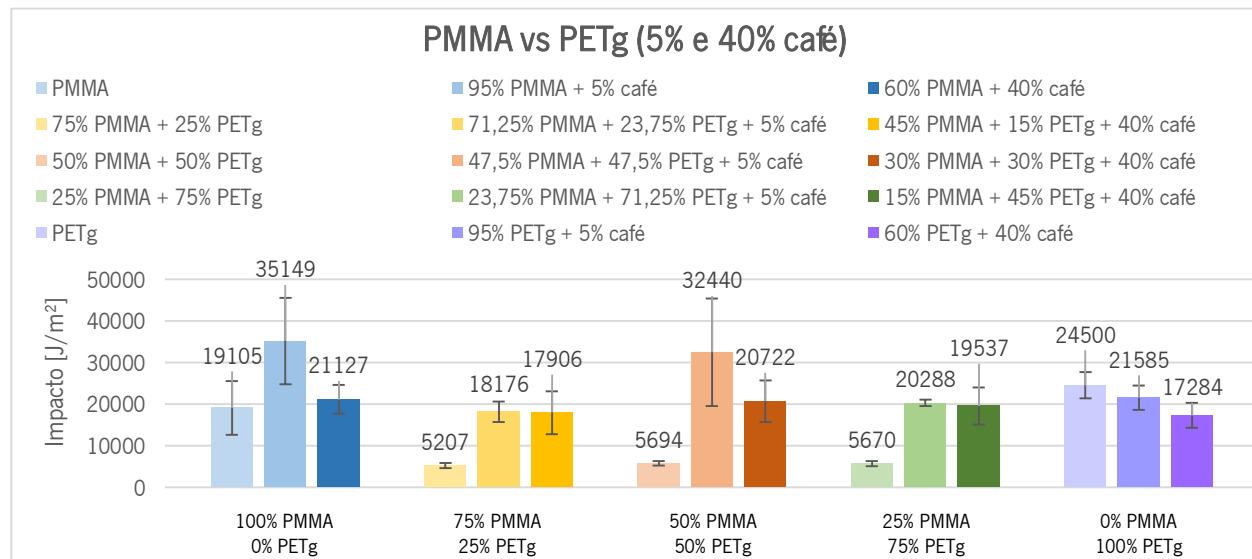


Figura 76 – Variação média geral da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 76 é possível perceber que tanto a adição de 5% como 40% de café, no geral, fazem com que a resistência ao impacto dos compósitos de PMMA com PETg seja maior. À exceção das misturas com a proporção 0/100.

Tensão Máxima

A figura 77 representa a variação média geral de tensão máxima, em MPa, de todos os materiais, resultantes dos ensaios de tração para o PMMA e PETg virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

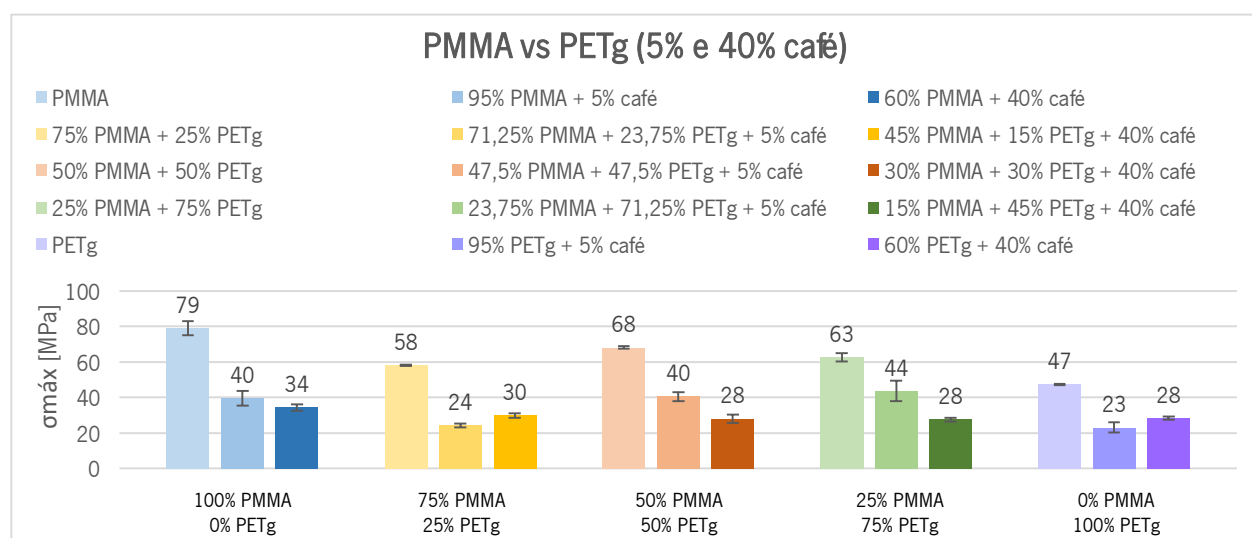


Figura 77 – Variação média geral da tensão máxima, em MPa, dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 77 verifica-se que tanto a adição de 5% como 40% de café, fazem com que os valores médios da tensão máxima diminuam para os compósitos de PMMA com PETg.

Módulo de Elasticidade

A figura 78 expõe a variação média geral, em MPa, de todos os resultados obtidos do módulo de elasticidade para o PMMA e PETg virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

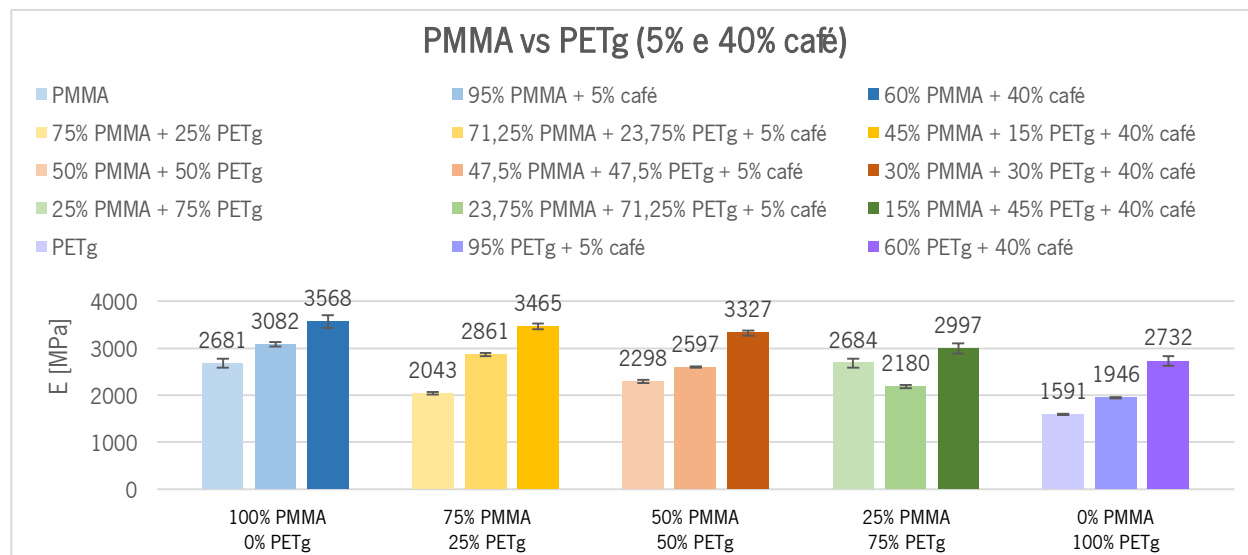


Figura 78 – Variação média geral do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 78 percebe-se que tanto a adição de 5% como 40% de café, no geral, fazem com que os valores médios do módulo de elasticidade aumentem para os compósitos de PMMA com PETg. Com a exceção da mistura 23,75/71,25/5, que diminui.

Deformação à Ruptura

A figura 79 apresenta a variação média geral, em percentagem, de todos os resultados obtidos da deformação à ruptura para o PMMA e PETg virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

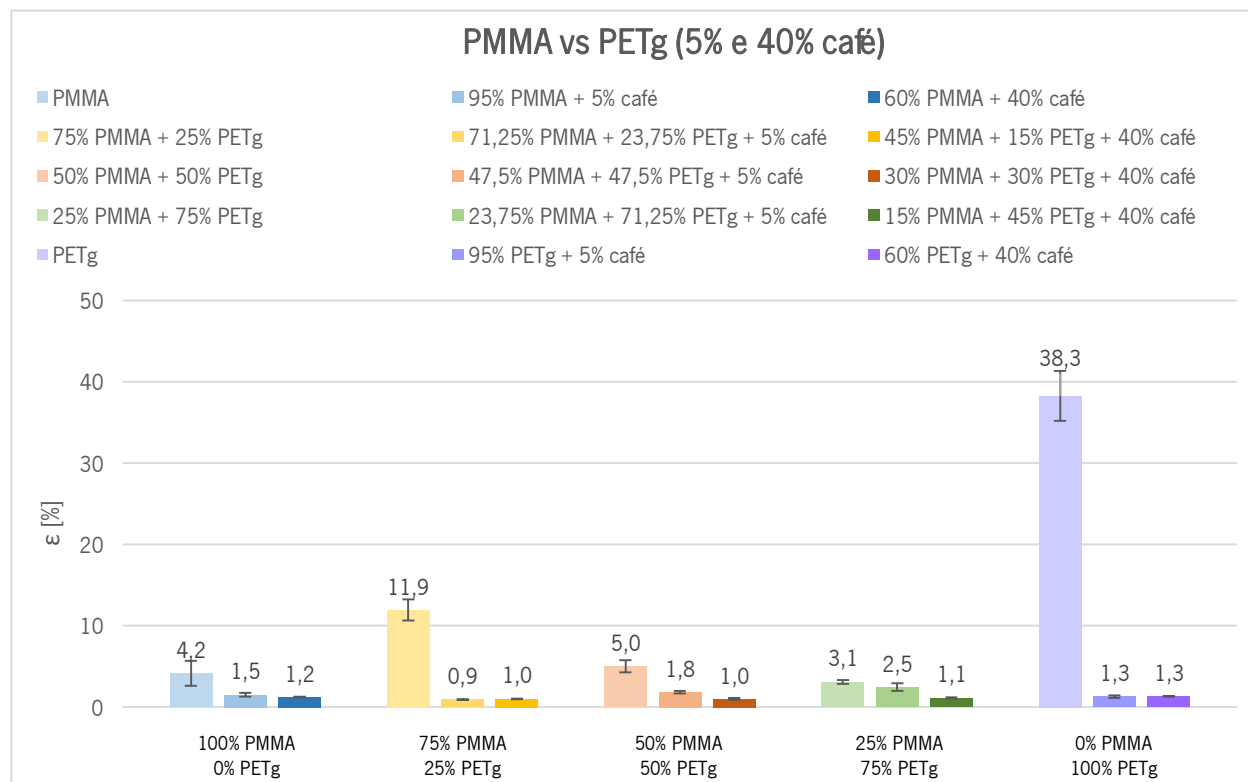


Figura 79 – Variação média geral da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de PMMA e PETg virgens e das suas misturas com 5% e 40% de café.

Na figura 79 é possível verificar que tanto a adição de 5% como 40% de café, no geral, fazem com que os valores médios da deformação à rotura diminuam para os compósitos de PMMA com PETg. Com a exceção da mistura 100/0, que aumenta.

4.3.2. F29 vs F10

Resistência ao Impacto

A figura 80 representa a variação média geral, em J/m², de todos os resultados obtidos através dos ensaios de resistência ao impacto para o F29 e F10 virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

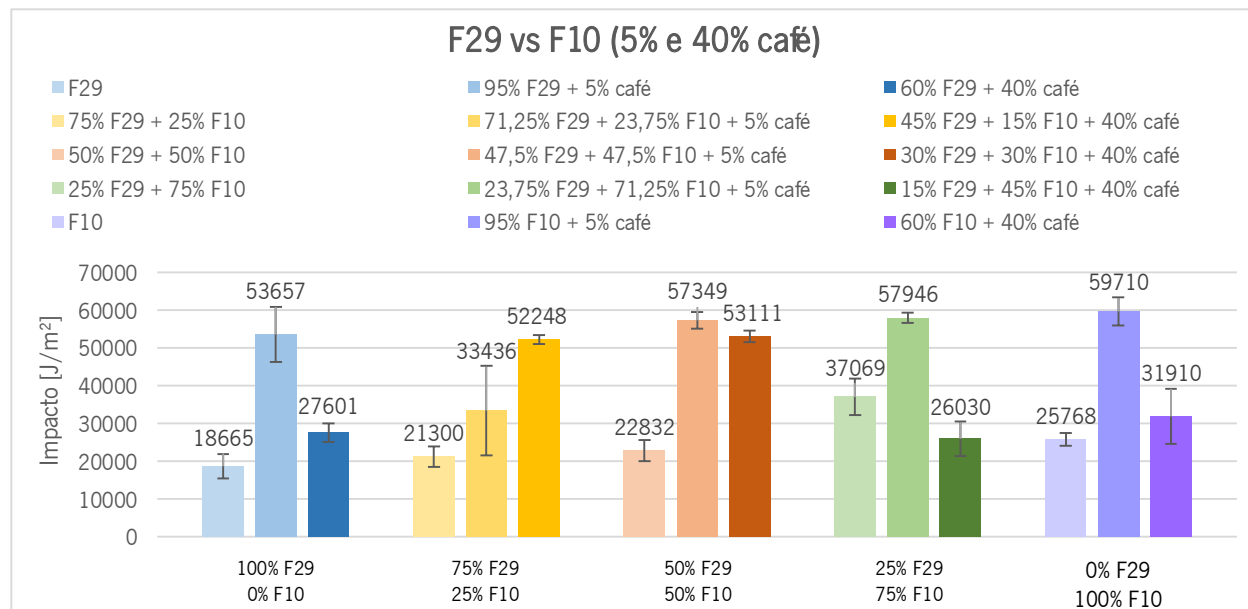


Figura 80 – Variação média geral da resistência ao impacto, em J/m², dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 80 é possível perceber que tanto a adição de 5% como 40% de café, fazem com que a resistência ao impacto dos compósitos de F29 com F10 seja maior.

Tensão Máxima

A figura 81 representa a variação média geral da tensão máxima, em MPa, de todos os materiais, resultantes dos ensaios de tração para o PMMA e PETg virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

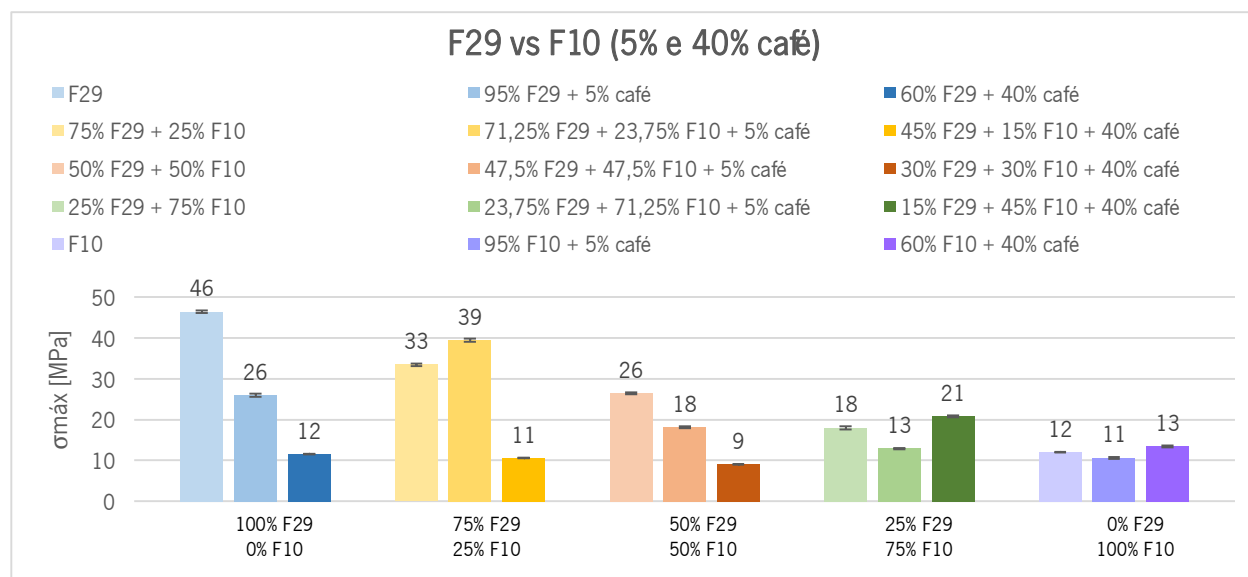


Figura 81 – Variação média geral da tensão de rotura, em MPa, dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 81 verifica-se que tanto a adição de 5% como 40% de café, no geral, fazem com que os valores médios da tensão máxima diminuam para os compósitos de F29 com F10. À exceção dos compósitos com as proporções 71,25/23,75/5, 15/45/40 e 60/40, que aumentam.

Módulo de Elasticidade

A figura 82 expõe a variação média geral, em MPa, de todos os resultados obtidos do módulo de elasticidade para o F29 e F10 virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

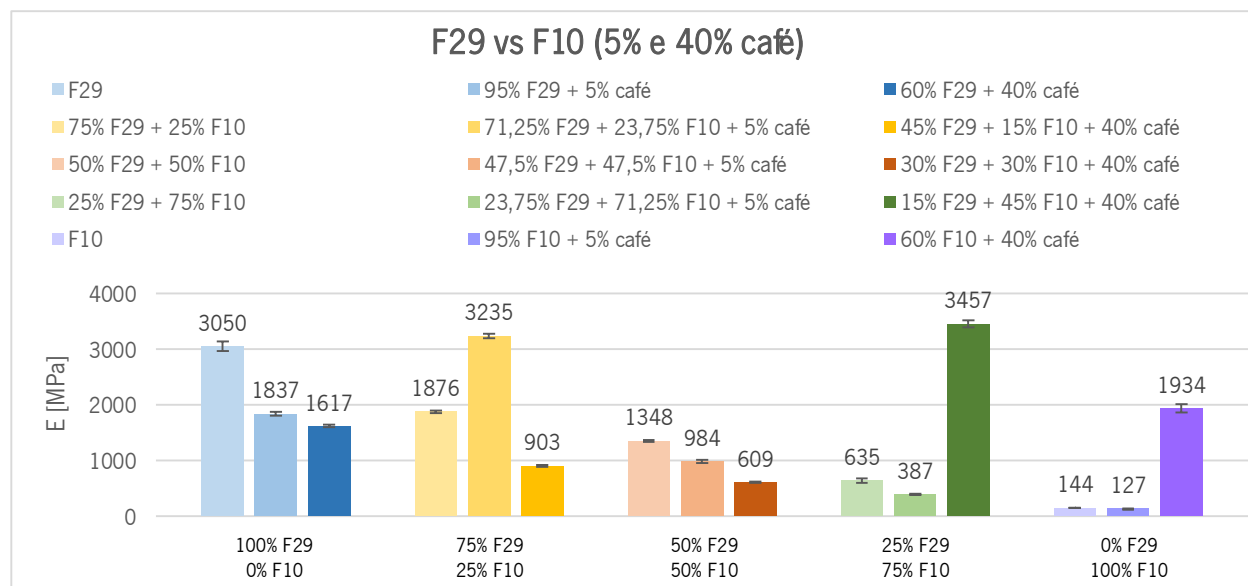


Figura 82 – Variação média geral do módulo de elasticidade, em MPa, dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 82 percebe-se que tanto a adição de 5% como 40% de café, no geral, fazem com que os valores médios do módulo de elasticidade diminuam para os compósitos de F29 com F10. Com a exceção das misturas 71,25/23,75/5, 15/45/40 e 60/40, que aumentam.

Deformação à Rotura

A figura 83 apresenta a variação média geral, em percentagem, de todos os resultados obtidos da deformação à rotura para o F29 e F10 virgens e para as suas misturas com 5% e 40% de café.

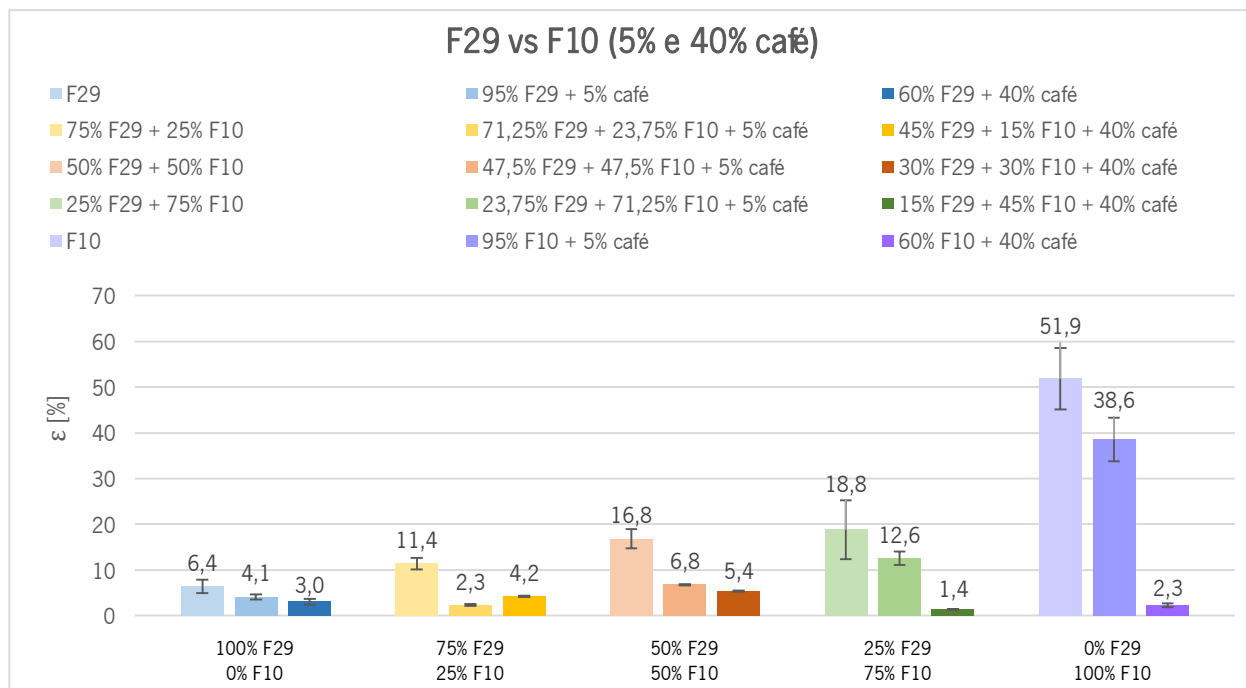


Figura 83 – Variação média geral da deformação à rotura, em percentagem, dos provetes de F29 e F10 virgens e das suas misturas com 5% e 40% café.

Na figura 83 é possível verificar que tanto a adição de 5% como 40% de café, fazem com que os valores médios da deformação à rotura diminuam para os compósitos de F29 com F10.

Capítulo V – Conclusões e Trabalhos Futuros

Esta dissertação envolveu a produção de vários compósitos com e sem a introdução de borras de café, de modo a criar materiais compósitos inovadores, avaliar o potencial de valorização das BC e, simultaneamente, contribuir para a economia circular transformando os desperdícios alimentares em matéria prima. Assim, os objetivos deste estudo foram a produção de compósitos com BC, utilizando misturas de polímeros e biopolímeros, caracterizar esses materiais e avaliar o potencial das BC funcionarem como compatibilizado. Os materiais selecionados foram o PMMA, o PETg, o ABS, o F29 e o F10, sendo que, após a extrusão das misturas, injeção dos provetes e caracterização mecânica dos mesmos, percebeu-se que as misturas de PMMA com PETg são as que aparentam ter menor compatibilidade e as misturas de F29 com F10 as que parecem ter maior compatibilidade. Assim, introduziram-se a esses materiais e misturas 5% e 40% de BC, de forma a compreender o efeito consequente das mesmas.

Para o PMMA com PETg sem café, no que diz respeito à sua resistência ao impacto, conclui-se que tanto o PMMA como o PETg têm melhor comportamento do que todas as suas misturas. Já quanto à tração, o PMMA é frágil e o PETg é dúctil, no entanto, quanto maior a percentagem de PETg, mais frágil o material se torna, o que contraria o que seria de esperar. Com isto, o maior módulo de elasticidade corresponde à mistura de 25/75, sendo que esta é a que deforma menos até atingir a tensão de rotura e, portanto, é a mistura que tem menor percentagem de deformação à rotura. Quanto ao DSC, pode concluir-se que não parece existir compatibilidade entre os estes dois materiais.

Para o PMMA com ABS sem café, ambos os materiais têm melhor resistência ao impacto do que todas as suas misturas. Respetivamente à tração, o PMMA é frágil e o ABS é dúctil, sendo que à medida que a percentagem de ABS vai aumentando, as misturas ficam mais dúcteis. Sendo assim, o módulo de elasticidade maior corresponde ao PMMA e diminui gradualmente até ao ABS. No entanto, a mistura de 25/75 é a que tem a maior deformação à rotura. O DSC mostra que parece haver alguma interação entre estes dois materiais, mas que não são completamente compatíveis.

Para o PETg com ABS sem café, conclui-se que ambos os materiais virgens têm melhor resistência ao impacto do que todas as suas misturas. Tanto o PETg como o ABS são dúcteis, sendo que o PETg deforma mais antes de chegar à sua tensão de rotura, sendo que todas as misturas têm comportamentos intermédios semelhantes entre si. O módulo de elasticidade menor corresponde ao PETg sendo que vai aumentando gradualmente até ao ABS. Assim sendo, o PETg é o material que tem maior deformação à rotura. Com o DSC é possível concluir que aparenta haver alguma compatibilidade e mistura parcial destes materiais.

Para o F29 com F10 sem café, relativamente à resistência ao impacto, a mistura de 25% F29 + 75% F10 tem melhor comportamento do que todos os outros materiais. Tanto o F29 como o F10 são materiais dúcteis, sendo que o F10 deforma mais até chegar à sua tensão de rotura. Já as misturas, comportam-se como seria de esperar, sendo

que a tensão de rotura vai aumentando à medida que a percentagem de F10 aumenta. Assim, o módulo de elasticidade maior corresponde ao F29 virgem e vai diminuindo gradualmente até ao F10 virgem e, portanto, a deformação de rotura faz o oposto e vai aumentando. O DSC mostra que parece ter havido uma boa compatibilidade dos dois materiais, aparentando ser os mais compatíveis. Tal pode dever-se ao facto de ambos os materiais serem misturas que possuem alguns componentes em comum uma com a outra.

Após as conclusões tiradas relativamente aos materiais e compósitos sem café, acrescentaram-se, então, 5% e 40% de BC às misturas que aparentavam ter melhor e pior compatibilidade, de forma a perceber se as BC funcionam como compatibilizador e permitem uma mistura de propriedades.

Para o PMMA com PETg com 5% de café, no que diz respeito à sua resistência ao impacto, conclui-se que a 95% PMMA + 5% café é o material que tem melhor comportamento e a mistura de 47,5/47,5/5 é a segunda com melhor resistência. Quanto à tração, todas as misturas são frágeis e tiveram um comportamento bastante semelhante entre elas, podendo concluir-se que a adição de 5% de BC, regulariza as misturas. O maior módulo de elasticidade corresponde ao 95% PMMA + 5% café, sendo que este é o material que deforma menos até atingir a tensão de rotura. No entanto, a mistura que tem menor percentagem de deformação à rotura é a de 71,25/23,75/5.

Para o F29 com F10 com 5% de café, relativamente à resistência ao impacto, a mistura de 71,25/23,75/5 é a tem pior comportamento comparativamente a todos os outros materiais, que têm uma resistência muito semelhante entre eles. Todos os materiais são dúcteis, sendo que o 95% F10 + 5% café deforma mais até chegar à sua tensão de rotura. O módulo de elasticidade mais elevado corresponde à mistura de 71,25/23,75/5 e, portanto, esta também apresenta a menor deformação à rotura.

Para o PMMA com PETg com 40% de café, no que diz respeito à sua resistência ao impacto, conclui-se que a 60% PMMA + 40% café é o material que tem melhor comportamento e a mistura de 45/45/40 é a segunda com melhor resistência. Quanto à tração, todas as misturas são frágeis e tiveram um comportamento bastante semelhante entre elas, podendo concluir-se que a adição de 40% de BC, também regulariza as misturas. O maior módulo de elasticidade corresponde ao 60% PMMA + 40% café, sendo que este é o material que deforma menos até atingir a tensão de rotura. No entanto, todas as três misturas têm menor percentagem de deformação à rotura do que os materiais virgens com 40% café.

Para o F29 com F10 com 40% de café, relativamente à resistência ao impacto, as misturas de 45/45/40 e 30/30/40 são as tem melhor comportamento comparativamente a todos os outros materiais, que apresentam uma resistência muito semelhante entre eles. Todos os materiais são dúcteis, sendo que a mistura de 30/30/40 deforma mais até chegar à sua tensão de rotura. O módulo de elasticidade mais elevado corresponde à mistura de 15/45/40 e, consequentemente, também apresenta a menor deformação à rotura.

No que diz respeito à resistência ao impacto dos compósitos de PMMA com PETg conclui-se que aumenta, em termos gerais, tanto com a adição de 5% como 40% de BC à exceção das misturas com a proporção de 0% PMMA +

100% PETg que diminui com ambas as percentagens de BC. No entanto, a adição de 5% BC parece funcionar melhor no aumento da resistência do que as 40%. Para os compósitos de F29 com F10 é possível constatar que a resistência ao impacto aumenta com a adição de 5% e 40% BC. Ainda assim, também os 5% aparentam aumentar mais do que as 40%, exceto para a mistura 45/15/40, que é superior às outras duas. O facto de a resistência ao impacto aumentar pode significar que as BC funcionam como carga e proporcionam uma maior rigidez dos materiais.

Já sobre a tensão máxima é possível deduzir que, para os compósitos de PMMA com PETg, tanto a adição de 5% como 40% de BC fazem com que ela diminua. Contudo, é com a adição de 40% que a tensão máxima apresenta os menores valores. Tal, pode significar que a adição das BC faz com que seja necessária menos força para fazer com que o corpo de prova chegue à sua tensão de cedência ou de rotura. Para os compósitos de F29 com F10 é possível concluir que a adição de 5% e 40% de BC também diminui a tensão máxima, exceto para as misturas 71,25/23,75/5 e 15/45/40, que aumenta. Todavia, é também com 40% de BC que os compósitos têm os menores valores de tensão máxima.

No caso do módulo de elasticidade para os compósitos de PMMA com PETg, averigua-se que, no geral, a adição de 5% e 40% de BC o faz aumentar, com a exceção da mistura 23,75/71,25/5, que diminui. No entanto, parece que é a adição de 40% de BC que faz o módulo aumentar mais. Para os compósitos de F29 com F10, verifica-se que a adição de 5% e 40% de BC tem comportamentos variados. Para as misturas com proporções 100% F29 e 50% F29 + 50% F10, a adição de ambas as percentagens de café fazem com que o módulo de elasticidade diminua, sendo que é com 5% que o módulo é melhor. Para as misturas com proporção 75% F29 + 25% F10 a adição de 5% de BC aumenta o módulo, mas os 40% diminuem-no. Já para as misturas com proporções 25% F29 + 75% F10 e 0% F29 + 100% F10, a adição de 5% de BC diminui o módulo de elasticidade, mas os 40% aumentam-no.

Sobre a deformação à rotura para os compósitos de PMMA com PETg, deduz-se que a adição de 5% e 40% de BC a faz diminuir e praticamente igualar. Pois os valores de deformação à rotura dos compósitos com 5% e 40% são bastante semelhantes, o que demonstra que o café funciona como um estabilizador. Para os compósitos de F29 com F10, a adição de 5% e 40% de BC também faz com que a deformação à rotura diminua. Isto pode significar que as cargas alteram o comportamento dos compósitos, tornando-os mais rígidos e fazendo com que estes não sofram tanta deformação como os materiais virgens.

Trabalhos Futuros

De futuro, seria pertinente estudar mais aprofundadamente as misturas que mostraram comportamentos fora do comum nos ensaios de impacto e tração e testar misturas com diferentes percentagens de polímeros e BC.

Também seria relevante realizarem-se ensaios mecânicos nas amostras que estiveram imersas em água durante 30 dias.

Capítulo VI – Bibliografia


- [1] C. Kourmentza, Ch.N. Economou, P. Tsafrakidou, M. Kornaros, *“Spent coffe grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream”*, 2018
- [2] Pushpa S. Murthy, M. Madhava Naidu, *“Sustainable management of coffe industry by-products and value addition – A review”*, 2012
- [3] Rocio Campos-Vega, Guadalupe Loarca-Piña, Haydé A. Vergara-Castañeda, B. Dave Oomah, *“Spent coffe grounds: A review on current research and future prospects”*, 2015
- [4] I. Khan, M. M. Chohan, M. A. J. Mazumder, *“Polymer Blends”*, 2018
- [5] Retirado de:
<https://www.istockphoto.com/br/fotos/cafe-arabica-planta?excludenudity=false&sort=mostpopular&mediatype=photography&phrase=cafe%20arabica%20planta> (9 de Outubro de 2019)
- [6] Retirado de: <http://www.dicasdachermont.com/2016/09/origem-e-historico-do-cafe.html> (9 de Outubro de 2019)
- [7] Retirado de: <https://www.bekoffee.com/sobre-nos/> (20 de Setembro de 2019)
- [8] Retirado de: www.ico.org/ (20 de Setembro de 2019)
- [9] Retirado de: <https://www.deltacafes.pt/pt/o-cafe/historia> (20 de Setembro de 2019)
- [10] Retirado de: <https://www.clubecafe.net.br/historia-cafe> (20 de Setembro de 2019)
- [11] Retirado de: <https://newcoffee.pt/mundo-do-cafe/historia-do-cafe/> (20 de Setembro de 2019)
- [12] Retirado de: www.theguardian.com/sustainable-business/grounds-sustainability-coffee-energy-fuel-pollution (20 de Setembro de 2019)
- [13] Retirado de: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/comercio/detalhe/portugal-aumentou-o-consumo-e-producao-de-cafe-nos-ultimos-tres-anos> (22 de Janeiro de 2019)
- [14] Retirado de: <https://www.createdigital.org.au/coffee-grounds-biodegradable-plastics/> (22 de Janeiro de 2019)
- [15] Retirado de: <https://www.dinheirovivo.pt/outras/exportacoes-e-consumo-interno-de-cafe-crescem-em-portugal-em-2018-aicc/> (20 de Setembro de 2019)
- [16] M. Xanthos, *“Polymers and Polymer Composites”*, 2005.
- [17] E. Hage Jr., *“Polímeros vol.8 no.2 São Carlos, Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros”*, 1998.
- [18] L. Jacques, *“História do Plástico”*, 2011.
- [19] J. Parameswaranpillai, S. Thomas, Y. Grohens, *“Polymer Blends: State of the Art, New Challenges and Opportunities”*, 2014.

- [20] Retirado de: <https://www.bettermeetsreality.com/the-pros-cons-of-plastic/> (8 de Outubro de 2019)
- [21] Retirado de: <http://plasticvpaper.weebly.com/plastic-pros-cons.html> (8 de Outubro de 2019)
- [22] Retirado de: <https://economia.estadao.com.br/blogs/ecoando/plastico-e-o-maior-desafio-ambiental-do-seculo-xxi-segundo-onu-meio-ambiente/> (9 de Outubro de 2019)
- [23] Retirado de: <https://jra.abae.pt/plataforma/artigo/microplasticos-o-novo-alimento-da-nossa-dieta/> (9 de Outubro de 2019)
- [24] Retirado de: <https://observador.pt/2018/10/23/cientistas-selecionaram-uma-amostra-de-pessoas-todas-tinham-vestigios-de-plastico-no-organismo/> (9 de Outubro de 2019)
- [25] H. K. Lee, Y. G. Park, T. Jeong, Y. S. Song, *“Green nanocomposites filled with spent coffee grounds”*, 2015.
- [26] M. Kumar, S. Mohanty, S. K. Nayak, M. R. Parvaiz, *“Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites”*, 2010
- [27] Retirado de: <https://www.aitex.es/portfolio/?lang=en> (9 de Outubro de 2019)
- [28] G. F. Brito, P. Agrawal, E. M. Araújo, T. J. A. Melo, *“Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes”*, 2011
- [29] Retirado de: <http://www.setorreciclagem.com.br/materiais-biodegradaveis/o-que-e-plastico-biodegradavel/> (9 de Outubro de 2019)
- [30] Retirado de: <https://www.decafe.es> (22 de Janeiro de 2019)
- [31] Retirado de: <https://www.kaffeeform.com/en/> (22 de Janeiro de 2019)
- [32] Retirado de: <https://inhabitat.com/re-worked-brews-up-furniture-from-recycled-coffee-grounds/> (22 de Janeiro de 2019)
- [33] Retirado de: <https://youraisethebar.com> (22 de Janeiro de 2019)

ANEXOS

[Anexo A] Matéria Prima

[A1] Ficha Técnica do F29



F29 HT10
TECHNICAL DATA SHEET


ISSUED DATE: JUNE 2016 ISO 9001

CHARACTERISTICS

INZEA F29 HT10 is a thermoplastic material, with improved high temperature behaviour, in process of being registered by Vinçotte as compostable, within a maximum thickness according to EN 13432. The renewable content is 84%. For further information, please contact NUREL. INZEA F29 HT grades are suitable for injection and extrusion applications. They can be processed in conventional equipment for polyolefins, PS and PA.

PROPERTIES

PHYSICAL PROPERTIES	CONDITIONS	TEST METHOD	UNIT	INZEA F29 HT10
% Renewable content			%	84
Melt Volume Rate	210°C 2,16 Kg	ISO 1133	cc/10min	25
Density	23°C, 30% HR	UNE-EN ISO 1183-1	g/cm³	1.32
Moisture content		NAPPA-032	%	<1
Melting Temperature (DSC)	109°C/min	ISO 3146	°C	175-180
MECHANICAL PROPERTIES (Molded amorphous with 25°C mould temperature)				
Heat Deflection Temperature (HDT)	0,45 Mpa	ISO 75-1/-2	°C	65
Tensile modulus	23°C, 1mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	3700
Tensile strength	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	53
Elongation at yield	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	2.3
Elongation at break	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	3.1
Flexural modulus	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	3600
Flexural strength	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	67
Charpy notched impact strength	23°C	ISO 179/1eA	kJ/m²	6.4
MECHANICAL PROPERTIES (Molded crystalline with 100-120°C mould temperature or cold mould injection + reheating in an oven)				
Heat Deflection Temperature (HDT)	0,45 Mpa	ISO 75-1/-2	°C	110
Tensile modulus	23°C, 1mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	3400
Tensile strength	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	52
Elongation at yield	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	2.2
Elongation at break	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	3.1
Flexural modulus	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	4100
Flexural strength	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	75
Charpy notched impact strength	23°C	ISO 179/1eA	kJ/m²	7



INZEA ® is trademark of NUREL, S.A.

Nurel S.A.
 Ctra. Barcelona km 329
 50016 Zaragoza, Spain
 T +34 976 465 579
 F +34 976 574 108
www.nurel.com

[A2] Ficha Técnica do F10



F10

TECHNICAL DATA SHEET

ISSUED DATE: 24/05/2017

ISO 9001 CERTIFIED

CHARACTERISTICS

INZEA F10 is a thermoplastic material registered by Vinçotte as compostable, within a maximum thickness according to EN 13432. The renewable content is 40%, and de biobased content 32%. It is registered by Vinçotte as home compostable.

INZEA F10 is suitable for blown and cast film extrusion, It can be processed in conventional equipment for PE. Corona treatment is not required.

APPLICATIONS

INZEA F10 can replace PE in several applications as: carrier and refuse bags, shopping bags, agricultural mulching films, organic waste bags, fast food packaging, diaper and hygienic article packaging.

FOOD PACKAGING

INZEA F10 can be used for contact with food depending on type of food, duration and conditions according to European directive N°10/2011. For further information please contact NUREL.

PROPERTIES

GENERAL PROPERTIES	Method	Units	Values
Renewable content		%	40
Biobased content	ASTM-D6866-12	%	32
Compostability	EN13432		YES
Solid density	ISO 1183-1	g/cc	1,31-1,34
MVR (190°C/2,16kg)	ISO1133	cc/10min	<3
Moisture content	NAPPA-032	%	<0,6
Melting temperature	ISO11357-1/3	°C	120/150

Blown film properties (Blow up ratio: 2,1)				
	Method	Units	Values	
Thickness	Internal Method	microns	20	15
Modulus	ISO527-3	MPa	150-200	150-200
Stress at yield MD	ISO527-3	MPa	7	7
Strain at yield MD	ISO527-3	%	7	7
Stress at Break MD	ISO527-3	MPa	20	20
Strain at break MD	ISO527-3	%	230-300	150-200
Tear Force, MD	ISO 6383-1	N	1	0,45
Tear Strength, MD	ISO 6383-1	N/mm	45	30
Tear Force, TD	ISO 6383-1	N	2,2	1,3
Tear Strength, TD	ISO 6383-1	N/mm	105	95
Punction Force	ISO 14477	N	0,6	0,4
Punction Elongation	ISO 14477	mm	2,7	2,5
Punction Strength	ISO 14477	mJ	1	0,7

FORMAT AND STORAGE

NUREL
ENGINEERING POLYMERS

INZEA® is trademark of NUREL, S.A.

Nurel S.A.
Ctra. Barcelona km 329
50016 Zaragoza, Spain
T +34 976 465 579
F +34 976 574 108
www.nurel.com

[Anexo B] Equipamentos



Figura 84 – Estufas.



Figura 85 – Moinho.



Figura 86 – Máquina de cortar entalhes e paquímetro, respetivamente.

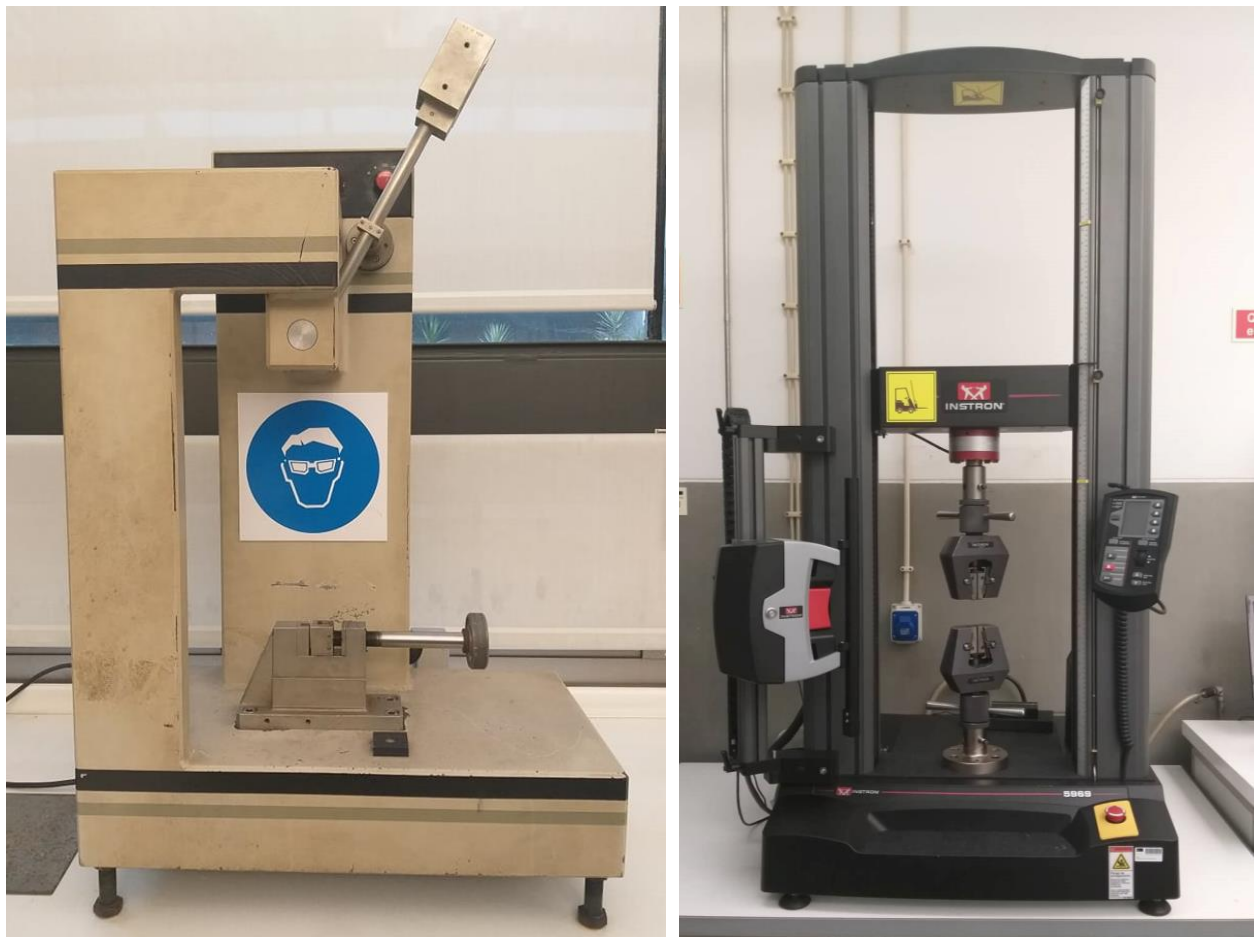


Figura 87 – Equipamentos de impacto e de tração, respetivamente.



Figura 88 – Equipamento de DSC.

[Anexo C] Dimensões e Massas

Legenda das tabelas 4 a 19:

E = Espessura do provete [mm]

L = Largura do provete [mm]

A = Área transversal do provete [m²]

[C1] Dimensões dos Provete de Impacto sem Café

Tabela 4 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.

	PMMA			75% PMMA + 25% PET			50% PMMA + 50% PET			25% PMMA + 75% PET			PET		
Provete	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,99	8,73	3,48E-05	6,13	10,78	6,61E-05	6,19	11,16	6,91E-05	6,16	10,98	6,76E-05	4,02	8,54	3,43E-05
2	3,94	8,68	3,42E-05	6,14	10,87	6,67E-05	6,13	11,04	6,77E-05	6,17	11,14	6,87E-05	4,00	8,44	3,38E-05
3	3,98	8,44	3,36E-05	6,13	10,78	6,61E-05	6,15	11,18	6,88E-05	6,13	11,11	6,81E-05	3,98	8,55	3,40E-05
4	3,99	8,63	3,44E-05	6,11	10,82	6,61E-05	6,14	10,98	6,74E-05	6,17	11,03	6,81E-05	3,97	8,52	3,38E-05
5	3,99	8,83	3,52E-05	6,12	10,78	6,60E-05	6,12	11,06	6,77E-05	6,18	11,14	6,88E-05	3,98	8,48	3,38E-05
6	3,97	8,70	3,45E-05	6,11	10,82	6,61E-05	6,10	11,18	6,82E-05	6,13	11,12	6,82E-05	3,94	8,50	3,35E-05
7	3,98	8,69	3,46E-05	6,11	10,88	6,65E-05	6,18	11,16	6,90E-05	6,15	10,96	6,74E-05	3,99	8,58	3,42E-05
8	3,97	8,71	3,46E-05	6,14	10,81	6,64E-05	6,18	10,94	6,76E-05	6,11	10,91	6,67E-05	3,99	8,43	3,36E-05
9	3,99	8,79	3,51E-05	6,13	10,85	6,65E-05	6,14	11,07	6,80E-05	6,16	10,84	6,68E-05	3,98	8,51	3,39E-05
10	3,98	8,86	3,53E-05	6,11	10,84	6,62E-05	6,17	11,04	6,81E-05	6,17	11,11	6,85E-05	4,01	8,58	3,44E-05
Média	3,98	8,71	3,46E-05	6,12	10,82	6,63E-05	6,15	11,08	6,81E-05	6,15	11,03	6,79E-05	3,99	8,51	3,39E-05
Desvio Padrão	0,016	0,118	5,07E-07	0,013	0,037	2,46E-07	0,029	0,086	5,97E-07	0,023	0,107	7,65E-07	0,022	0,052	3,06E-07

Tabela 5 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.

	PMMA			75% PMMA + 25% ABS			50% PMMA + 50% ABS			25% PMMA + 75% ABS			ABS		
Provete	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,99	8,73	3,48E-05	6,12	10,85	6,64E-05	6,14	10,91	6,70E-05	6,13	10,88	6,67E-05	4,02	8,69	3,49E-05
2	3,94	8,68	3,42E-05	6,12	10,87	6,65E-05	6,15	10,87	6,69E-05	6,17	11,02	6,80E-05	4,01	8,62	3,46E-05
3	3,98	8,44	3,36E-05	6,13	10,73	6,58E-05	6,14	10,92	6,71E-05	6,16	10,88	6,70E-05	4,02	8,65	3,48E-05
4	3,99	8,63	3,44E-05	6,13	10,75	6,59E-05	6,15	10,80	6,64E-05	6,14	11,07	6,80E-05	4,01	8,63	3,46E-05
5	3,99	8,83	3,52E-05	6,14	10,92	6,71E-05	6,16	10,87	6,70E-05	6,13	10,97	6,73E-05	4,02	8,68	3,49E-05
6	3,97	8,70	3,45E-05	6,14	10,87	6,67E-05	6,16	10,83	6,67E-05	6,14	10,98	6,74E-05	4,01	8,66	3,47E-05
7	3,98	8,69	3,46E-05	6,14	10,85	6,66E-05	6,15	10,97	6,75E-05	6,14	10,98	6,74E-05	4,01	8,71	3,49E-05
8	3,97	8,71	3,46E-05	6,12	10,83	6,63E-05	6,14	10,92	6,71E-05	6,14	10,92	6,71E-05	4,02	8,63	3,47E-05
9	3,99	8,79	3,51E-05	6,13	10,88	6,67E-05	6,14	10,83	6,65E-05	6,11	10,98	6,71E-05	4,02	8,65	3,48E-05
10	3,98	8,86	3,53E-05	6,11	10,68	6,53E-05	6,16	10,90	6,71E-05	6,14	10,89	6,69E-05	4,00	8,73	3,49E-05
Média	3,98	8,71	3,46E-05	6,13	10,82	6,63E-05	6,15	10,88	6,69E-05	6,14	10,96	6,73E-05	4,01	8,67	3,48E-05
Desvio Padrão	0,016	0,118	5,07E-07	0,010	0,077	5,37E-07	0,009	0,052	3,10E-07	0,016	0,063	4,34E-07	0,007	0,037	1,35E-07

Tabela 6 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.

	PET			75% PET + 25% ABS			50% PET + 50% ABS			25% PET + 75% ABS			ABS		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	4,02	8,54	3,43E-05	6,13	11,19	6,86E-05	6,15	10,9	6,70E-05	6,18	10,89	6,73E-05	4,02	8,69	3,49E-05
2	4,00	8,44	3,38E-05	6,16	10,93	6,73E-05	6,19	10,81	6,69E-05	6,18	10,81	6,68E-05	4,01	8,62	3,46E-05
3	3,98	8,55	3,40E-05	6,22	11,22	6,98E-05	6,18	10,82	6,69E-05	6,17	10,85	6,69E-05	4,02	8,65	3,48E-05
4	3,97	8,52	3,38E-05	6,21	11,12	6,91E-05	6,2	10,73	6,65E-05	6,18	10,87	6,72E-05	4,01	8,63	3,46E-05
5	3,98	8,48	3,38E-05	6,14	11,18	6,87E-05	6,17	10,76	6,64E-05	6,18	10,91	6,74E-05	4,02	8,68	3,49E-05
6	3,94	8,50	3,35E-05	6,21	10,73	6,66E-05	6,18	10,78	6,66E-05	6,17	10,86	6,70E-05	4,01	8,66	3,47E-05
7	3,99	8,58	3,42E-05	6,11	10,96	6,70E-05	6,19	10,81	6,69E-05	6,17	10,85	6,70E-05	4,01	8,71	3,49E-05
8	3,99	8,43	3,36E-05	6,17	10,98	6,78E-05	6,18	10,81	6,68E-05	6,18	10,85	6,71E-05	4,02	8,63	3,47E-05
9	3,98	8,51	3,39E-05	6,17	10,77	6,65E-05	6,17	10,82	6,68E-05	6,16	10,84	6,68E-05	4,02	8,65	3,48E-05
10	4,01	8,58	3,44E-05	6,16	10,88	6,70E-05	6,19	10,75	6,65E-05	6,18	10,86	6,71E-05	4,00	8,73	3,49E-05
Média	3,99	8,51	3,39E-05	6,168	10,70	6,78E-05	6,18	10,80	6,67E-05	6,175	10,86	6,71E-05	4,01	8,67	3,48E-05
Desvio Padrão	0,022	0,052	3,06E-07	0,037	0,176	1,13E-06	0,014	0,048	2,08E-07	0,007	0,027	2,06E-07	0,007	0,037	1,35E-07

Tabela 7 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas, para os ensaios de resistência ao impacto.

	F29			75% F29 + 25% F10			50% F29 + 50% F10			25% F29 + 75% F10			F10		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	4,03	8,08	3,26E-05	3,96	8,07	3,20E-05	4,01	8,03	3,22E-05	4,01	8,35	3,35E-05	6,03	10,99	6,63E-05
2	4,02	8,29	3,33E-05	3,95	8,01	3,16E-05	4,01	8,07	3,24E-05	4,01	8,28	3,32E-05	6,07	10,98	6,66E-05
3	4,01	8,48	3,40E-05	3,96	8,01	3,17E-05	4,01	8,16	3,27E-05	4,01	8,41	3,37E-05	6,06	11,02	6,68E-05
4	4,01	8,41	3,37E-05	3,96	8,05	3,19E-05	4,02	8,02	3,22E-05	4,01	8,23	3,30E-05	6,06	10,96	6,64E-05
5	4,02	8,48	3,41E-05	3,96	8,02	3,18E-05	4,02	8,02	3,22E-05	4,01	8,24	3,30E-05	6,03	10,89	6,57E-05
6	4,02	8,49	3,41E-05	3,97	7,97	3,16E-05	3,99	8,12	3,24E-05	4,01	8,35	3,35E-05	6,03	10,96	6,61E-05
7	4,02	8,48	3,41E-05	3,94	7,99	3,15E-05	4,01	8,13	3,26E-05	4,01	8,27	3,32E-05	6,05	10,86	6,57E-05
8	4,01	8,47	3,40E-05	3,98	8,08	3,22E-05	4,02	8,05	3,24E-05	4,01	8,31	3,33E-05	6,07	11,01	6,68E-05
9	4,02	8,45	3,40E-05	4,00	7,96	3,18E-05	4,02	8,09	3,25E-05	4,01	8,26	3,31E-05	6,09	10,99	6,69E-05
10	4,01	8,41	3,37E-05	4,00	8,06	3,22E-05	4,01	8,07	3,24E-05	4,01	8,30	3,33E-05	6,00	10,86	6,52E-05
Média	4,017	8,404	3,38E-05	3,968	8,022	3,18E-05	4,012	8,076	3,24E-05	4,01	8,30	3,33E-05	6,049	10,95	6,62E-05
Desvio Padrão	0,007	0,129	4,86E-07	0,020	0,042	2,37E-07	0,009	0,049	1,68E-07	0	0,056	2,26E-07	0,026	0,060	5,89E-07

[C2] Dimensões dos Provetes de Impacto com Café

Tabela 8 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.

	95% PMMA + 5% café			71,25% PMMA + 23,75% PET + 5% café			47,5% PMMA + 47,5% PET + 5% café			23,75% PMMA + 71,25% PET + 5% café			95% PET + 5% café		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,99	8,24	3,29E-05	3,96	8,27	3,27E-05	3,94	8,25	3,25E-05	3,95	8,07	3,19E-05	3,93	8,13	3,20E-05
2	3,97	8,14	3,23E-05	3,94	8,29	3,27E-05	3,93	8,17	3,21E-05	3,91	8,19	3,20E-05	3,91	8,30	3,25E-05
3	3,98	8,13	3,24E-05	3,90	8,26	3,22E-05	3,93	8,12	3,19E-05	3,96	8,19	3,24E-05	3,91	8,12	3,17E-05
4	3,96	8,17	3,24E-05	3,95	8,18	3,23E-05	3,94	8,15	3,21E-05	3,96	8,21	3,25E-05	3,90	8,16	3,18E-05
5	3,97	8,21	3,26E-05	3,93	8,36	3,29E-05	3,91	8,19	3,20E-05	3,97	8,14	3,23E-05	3,95	8,10	3,20E-05
6	3,97	8,19	3,25E-05	3,92	8,32	3,26E-05	3,90	8,22	3,21E-05	3,95	8,20	3,24E-05	3,94	8,12	3,20E-05
7	4,00	8,14	3,26E-05	3,93	8,18	3,21E-05	3,94	8,21	3,23E-05	3,93	8,15	3,20E-05	3,91	8,13	3,18E-05
8	3,97	8,13	3,23E-05	3,94	8,14	3,21E-05	3,90	8,31	3,24E-05	3,94	8,14	3,21E-05	3,95	8,11	3,20E-05
9	3,98	8,15	3,24E-05	3,90	8,19	3,19E-05	3,91	8,19	3,20E-05	3,91	8,13	3,18E-05	3,92	8,19	3,21E-05
10	3,98	8,12	3,23E-05	3,93	8,26	3,25E-05	3,91	8,20	3,21E-05	3,93	8,14	3,20E-05	3,91	8,15	3,19E-05
Média	3,977	8,162	3,25E-05	3,93	8,245	3,24E-05	3,921	8,201	3,22E-05	3,941	8,156	3,21E-05	3,923	8,151	3,20E-05
Desvio Padrão	0,012	0,040	1,83E-07	0,019	0,070	3,11E-07	0,017	0,053	1,94E-07	0,021	0,042	2,50E-07	0,018	0,059	2,03E-07

Tabela 9 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.

	60% PMMA + 40% café			45% PMMA + 15% PET + 40% café			30% PMMA + 30% PET + 40% café			15% PMMA + 45% PET + 40% café			60% PET + 40% café		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,94	8,08	3,18E-05	3,93	8,15	3,20E-05	3,94	8,19	3,23E-05	3,96	8,13	3,22E-05	4	8,12	3,25E-05
2	3,91	8,06	3,15E-05	3,90	8,08	3,15E-05	3,96	8,09	3,20E-05	3,91	8,16	3,19E-05	4,14	8,2	3,39E-05
3	4,00	8,14	3,26E-05	3,94	8,14	3,21E-05	3,90	8,05	3,14E-05	3,96	8,17	3,24E-05	4,04	8,17	3,30E-05
4	3,95	8,09	3,20E-05	3,92	8,11	3,18E-05	3,94	8,11	3,20E-05	3,93	8,11	3,19E-05	4,06	8,20	3,33E-05
5	3,91	8,04	3,14E-05	3,92	8,04	3,15E-05	3,90	8,10	3,16E-05	3,95	8,12	3,21E-05	3,98	8,16	3,25E-05
6	3,90	8,03	3,13E-05	3,95	8,11	3,20E-05	3,90	8,05	3,14E-05	3,94	8,15	3,21E-05	4,04	8,20	3,31E-05
7	3,90	8,05	3,14E-05	3,91	8,05	3,15E-05	3,96	8,08	3,20E-05	3,90	8,12	3,17E-05	3,96	8,20	3,25E-05
8	3,90	8,07	3,15E-05	3,90	8,03	3,13E-05	3,90	8,03	3,13E-05	3,92	8,17	3,20E-05	3,98	8,18	3,26E-05
9	3,90	8,06	3,14E-05	3,90	8,10	3,16E-05	3,96	8,09	3,20E-05	3,96	8,18	3,24E-05	4,02	8,13	3,27E-05
10	3,95	7,98	3,15E-05	3,90	8,11	3,16E-05	3,94	8,08	3,18E-05	3,97	8,10	3,22E-05	4,02	8,20	3,30E-05
Média	3,926	8,06	3,16E-05	3,917	8,092	3,17E-05	3,93	8,087	3,18E-05	3,94	8,141	3,21E-05	4,024	8,176	3,29E-05
Desvio Padrão	0,033	0,042	5,07E-07	0,013	0,037	2,46E-07	0,029	0,086	5,97E-07	0,023	0,107	7,65E-07	0,022	0,052	3,06E-07

Tabela 10 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.

	95% F29 + 5% café			71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café			47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café			23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café			95% F10 + 5% café		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,92	8,09	3,17E-05	3,96	7,98	3,16E-05	3,92	7,79	3,05E-05	3,90	7,82	3,05E-05	3,93	7,80	3,07E-05
2	3,97	8,00	3,18E-05	3,99	7,92	3,16E-05	3,95	7,95	3,14E-05	3,91	7,93	3,10E-05	3,88	7,92	3,07E-05
3	3,96	7,86	3,11E-05	3,97	7,96	3,16E-05	3,90	7,85	3,06E-05	3,93	7,59	2,98E-05	3,91	7,72	3,02E-05
4	3,95	7,95	3,14E-05	3,94	8,00	3,15E-05	3,91	7,87	3,08E-05	3,90	7,96	3,10E-05	3,91	7,85	3,07E-05
5	3,94	8,02	3,16E-05	3,90	8,02	3,13E-05	3,91	7,92	3,10E-05	3,92	7,87	3,09E-05	3,90	7,83	3,05E-05
6	3,94	7,87	3,10E-05	3,89	8,07	3,14E-05	3,93	7,95	3,12E-05	3,93	7,90	3,10E-05	3,93	7,71	3,03E-05
7	3,94	7,93	3,12E-05	3,88	8,00	3,10E-05	3,93	7,77	3,05E-05	3,93	7,98	3,14E-05	3,90	7,85	3,06E-05
8	3,95	7,90	3,12E-05	3,95	8,01	3,16E-05	3,90	7,80	3,04E-05	3,91	7,84	3,07E-05	3,91	7,89	3,08E-05
9	3,98	7,93	3,16E-05	3,94	7,94	3,13E-05	3,93	7,83	3,08E-05	3,91	7,47	2,92E-05	3,92	7,80	3,06E-05
10	3,96	7,91	3,13E-05	3,92	7,94	3,11E-05	3,94	7,89	3,11E-05	3,91	7,75	3,03E-05	3,93	7,84	3,08E-05
Média	3,951	7,946	3,14E-05	3,934	7,984	3,14E-05	3,922	7,862	3,08E-05	3,915	7,811	3,06E-05	3,912	7,821	3,06E-05
Desvio Padrão	0,017	0,072	2,56E-07	0,036	0,045	2,18E-07	0,017	0,065	3,29E-07	0,012	0,165	6,53E-07	0,016	0,067	2,11E-07

Tabela 11 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de resistência ao impacto.

	60% F29 + 40% café			45% F29 + 15% F10 + 40% café			30% F29 + 30% F10 + 40% café			15% F29 + 45% F10 + 40% café			60% F10 + 40% café		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,91	7,91	3,09E-05	3,9	7,77	3,03E-05	3,93	7,88	3,10E-05	3,9	7,91	3,08E-05	3,91	7,97	3,12E-05
2	3,91	7,88	3,08E-05	3,94	7,77	3,06E-05	3,9	7,81	3,05E-05	3,93	7,89	3,10E-05	3,91	7,88	3,08E-05
3	3,95	7,85	3,10E-05	3,94	7,83	3,09E-05	3,91	7,87	3,08E-05	3,92	7,94	3,11E-05	3,91	7,93	3,10E-05
4	3,9	7,91	3,08E-05	3,9	7,85	3,06E-05	3,9	7,89	3,08E-05	3,92	7,88	3,09E-05	3,94	7,95	3,13E-05
5	3,91	7,87	3,08E-05	3,91	7,85	3,07E-05	3,9	7,74	3,02E-05	3,91	7,89	3,08E-05	3,92	7,99	3,13E-05
6	3,91	7,88	3,08E-05	3,92	7,88	3,09E-05	3,92	7,77	3,05E-05	3,94	7,84	3,09E-05	3,93	7,94	3,12E-05
7	3,92	7,92	3,10E-05	3,91	7,91	3,09E-05	3,91	7,88	3,08E-05	3,91	7,92	3,10E-05	3,97	7,97	3,16E-05
8	3,92	7,87	3,09E-05	3,91	7,84	3,07E-05	3,95	7,95	3,14E-05	3,9	7,87	3,07E-05	3,92	7,98	3,13E-05
9	3,91	7,85	3,07E-05	3,99	7,68	3,06E-05	3,9	7,88	3,07E-05	3,92	7,9	3,10E-05	3,9	7,98	3,11E-05
10	3,92	7,88	3,09E-05	3,91	7,88	3,08E-05	3,92	7,89	3,09E-05	3,91	7,86	3,07E-05	3,92	7,97	3,12E-05
Média	3,916	7,882	3,09E-05	3,923	7,826	3,07E-05	3,914	7,856	3,07E-05	3,916	7,89	3,09E-05	3,923	7,956	3,12E-05
Desvio Padrão	0,014	0,024	1,07E-07	0,028	0,068	1,83E-07	0,017	0,063	3,33E-07	0,013	0,029	1,28E-07	0,020	0,033	2,18E-07

[C3] Dimensões dos Provetes de Tração sem Café**Tabela 12 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas, para os ensaios de tração.**

	PMMA			75% PMMA + 25% PET			50% PMMA + 50% PET			25% PMMA + 75% PET			PET		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,99	10,32	4,12E-05	3,99	10,38	4,14E-05	4,04	10,35	4,18E-05	4,01	10,41	4,17E-05	4,03	10,54	4,25E-05
2	4,00	10,29	4,12E-05	4,01	10,35	4,15E-05	4,04	10,36	4,19E-05	4,03	10,45	4,21E-05	4,03	10,57	4,26E-05
3	3,99	10,58	4,22E-05	3,99	10,41	4,15E-05	4,04	10,47	4,23E-05	4,00	10,42	4,17E-05	4,03	10,51	4,24E-05
4	3,99	10,57	4,22E-05	3,98	10,34	4,12E-05	4,01	10,48	4,20E-05	4,01	10,46	4,19E-05	4,03	10,44	4,21E-05
5	3,99	10,52	4,20E-05	4,01	10,32	4,14E-05	4,00	10,43	4,17E-05	4,01	10,41	4,17E-05	4,03	10,45	4,21E-05
6	3,98	10,58	4,21E-05	4,01	10,46	4,19E-05	4,04	10,35	4,18E-05	3,96	10,39	4,11E-05	4,03	10,53	4,24E-05
7	4,00	10,54	4,22E-05	3,99	10,35	4,13E-05	3,95	10,47	4,14E-05	3,99	10,43	4,16E-05	4,03	10,46	4,22E-05
8	4,00	10,60	4,24E-05	3,98	10,33	4,11E-05	3,97	10,37	4,12E-05	3,96	10,41	4,12E-05	4,03	10,40	4,19E-05
9	3,99	10,57	4,22E-05	4,01	10,37	4,16E-05	4,04	10,35	4,18E-05	4,00	10,38	4,15E-05	4,03	10,48	4,22E-05
10	3,98	10,58	4,21E-05	3,99	10,35	4,13E-05	4,05	10,43	4,22E-05	4,00	10,45	4,18E-05	4,03	10,53	4,24E-05
Média	3,991	10,52	4,20E-05	3,996	10,37	4,14E-05	4,018	10,41	4,18E-05	3,997	10,42	4,17E-05	4,03	10,49	4,23E-05
Desvio Padrão	0,007	0,116	8,35E-10	0,013	0,042	5,31E-10	0,035	0,055	1,92E-09	0,022	0,026	5,85E-10	0	0,053	0

Tabela 13 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de tração.

	PMMA			75% PMMA + 25% ABS			50% PMMA + 50% ABS			25% PMMA + 75% ABS			ABS		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,99	10,32	4,12E-05	3,96	10,43	4,13E-05	4,00	10,48	4,19E-05	4,01	10,52	4,22E-05	4,02	10,42	4,19E-05
2	4,00	10,29	4,12E-05	3,97	10,46	4,15E-05	4,04	10,34	4,18E-05	4,04	10,45	4,22E-05	4,02	10,6	4,26E-05
3	3,99	10,58	4,22E-05	3,97	10,45	4,15E-05	4,00	10,50	4,20E-05	4,05	10,51	4,26E-05	4,02	10,46	4,20E-05
4	3,99	10,57	4,22E-05	3,98	10,48	4,17E-05	4,02	10,55	4,24E-05	4,02	10,49	4,22E-05	4,02	10,45	4,20E-05
5	3,99	10,52	4,20E-05	3,97	10,51	4,17E-05	3,99	10,39	4,15E-05	4,03	10,57	4,26E-05	4,02	10,46	4,20E-05
6	3,98	10,58	4,21E-05	3,97	10,44	4,14E-05	4,04	10,40	4,20E-05	4,03	10,42	4,20E-05	4,02	10,53	4,23E-05
7	4,00	10,54	4,22E-05	4,01	10,39	4,17E-05	4,00	10,43	4,17E-05	3,99	10,37	4,14E-05	4,02	10,40	4,18E-05
8	4,00	10,60	4,24E-05	3,96	10,45	4,14E-05	4,02	10,59	4,26E-05	4,00	10,46	4,18E-05	4,02	10,44	4,20E-05
9	3,99	10,57	4,22E-05	3,95	10,48	4,14E-05	3,98	10,45	4,16E-05	4,02	10,44	4,20E-05	4,02	10,47	4,21E-05
10	3,98	10,58	4,21E-05	3,98	10,55	4,20E-05	3,98	10,51	4,18E-05	4,02	10,43	4,19E-05	4,02	10,56	4,25E-05
Média	3,991	10,52	4,20E-05	3,972	10,46	4,16E-05	4,007	10,46	4,19E-05	4,021	10,47	4,21E-05	4,02	10,48	4,21E-05
Desvio Padrão	0,007	0,116	8,35E-10	0,016	0,044	7,17E-10	0,022	0,077	1,70E-09	0,018	0,058	1,03E-09	0	0,064	5,98E-23

Tabela 14 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PETg e de ABS e das suas misturas, para os ensaios de tração.

	PET			75% PET + 25% ABS			50% PET + 50% ABS			25% PET + 75% ABS			ABS		
Provette	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	4,03	10,54	4,25E-05	4,00	10,54	4,22E-05	4,04	10,41	4,21E-05	4,03	10,45	4,21E-05	4,02	10,42	4,19E-05
2	4,03	10,57	4,26E-05	4,04	10,43	4,21E-05	4,06	10,45	4,24E-05	4,03	10,47	4,22E-05	4,02	10,6	4,26E-05
3	4,03	10,51	4,24E-05	4,00	10,35	4,14E-05	4,00	10,43	4,17E-05	4,02	10,42	4,19E-05	4,02	10,46	4,20E-05
4	4,03	10,44	4,21E-05	4,02	10,35	4,16E-05	4,05	10,51	4,26E-05	4,01	10,42	4,18E-05	4,02	10,45	4,20E-05
5	4,03	10,45	4,21E-05	3,99	10,34	4,13E-05	4,04	10,50	4,24E-05	4,02	10,50	4,22E-05	4,02	10,46	4,20E-05
6	4,03	10,53	4,24E-05	4,04	10,34	4,18E-05	4,06	10,57	4,29E-05	4,02	10,48	4,21E-05	4,02	10,53	4,23E-05
7	4,03	10,46	4,22E-05	4,00	10,35	4,14E-05	4,06	10,54	4,28E-05	4,04	10,45	4,22E-05	4,02	10,40	4,18E-05
8	4,03	10,4	4,19E-05	4,02	10,45	4,20E-05	4,04	10,5	4,24E-05	4,04	10,5	4,24E-05	4,02	10,44	4,20E-05
9	4,03	10,48	4,22E-05	3,98	10,32	4,11E-05	4,06	10,54	4,28E-05	4,04	10,46	4,23E-05	4,02	10,47	4,21E-05
10	4,03	10,53	4,24E-05	3,98	10,44	4,16E-05	4,06	10,49	4,26E-05	4,04	10,45	4,22E-05	4,02	10,56	4,25E-05
Média	4,03	10,49	4,23E-05	4,007	10,39	4,16E-05	4,047	10,494	4,25E-05	4,029	10,46	4,21E-05	4,02	10,48	4,21E-05
Desvio Padrão	0	0,053	0	0,022	0,071	1,56E-09	0,019	0,051	9,64E-10	0,011	0,028	3,11E-10	0	0,064	5,98E-23

Tabela 15 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas, para os ensaios de tração.

	F29			75% F29 + 25% F10			50% F29 + 50% F10			25% F29 + 75% F10			F10		
Provette	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	4,01	10,34	4,15E-05	3,99	10,35	4,13E-05	4,01	10,34	4,15E-05	4,03	10,26	4,13E-05	3,98	10,08	4,01E-05
2	4,02	10,43	4,19E-05	3,96	10,18	4,03E-05	3,97	10,17	4,04E-05	3,96	10,28	4,07E-05	3,98	10,17	4,05E-05
3	4,02	10,40	4,18E-05	4,00	10,28	4,11E-05	3,97	10,34	4,10E-05	4,03	10,26	4,13E-05	3,98	10,02	3,99E-05
4	4,01	10,37	4,16E-05	3,99	10,23	4,08E-05	3,98	10,32	4,11E-05	3,99	10,24	4,09E-05	3,99	10,09	4,03E-05
5	4,01	10,38	4,16E-05	3,99	10,32	4,12E-05	3,97	10,31	4,09E-05	4,04	10,18	4,11E-05	4,00	10,01	4,00E-05
6	4,01	10,42	4,18E-05	3,98	10,31	4,10E-05	4,01	10,23	4,10E-05	4,02	10,20	4,10E-05	4,00	10,01	4,00E-05
7	4,01	10,37	4,16E-05	4,00	10,25	4,10E-05	4,00	10,22	4,09E-05	3,98	10,30	4,10E-05	4,01	10,07	4,04E-05
8	4,01	10,47	4,20E-05	4,00	10,33	4,13E-05	4,00	10,29	4,12E-05	3,96	10,19	4,04E-05	3,98	10,00	3,98E-05
9	4,01	10,49	4,21E-05	4,00	10,29	4,12E-05	4,00	10,29	4,12E-05	4,02	10,17	4,09E-05	4,01	10,05	4,03E-05
10	4,02	10,42	4,19E-05	4,00	10,34	4,14E-05	3,99	10,23	4,08E-05	4,03	10,16	4,09E-05	3,99	10,01	3,99E-05
Média	4,013	10,41	4,18E-05	3,991	10,29	4,11E-05	3,99	10,274	4,10E-05	4,006	10,224	4,10E-05	3,992	10,05	4,01E-05
Desvio Padrão	0,005	0,047	2,26E-10	0,013	0,054	6,96E-10	0,016	0,058	9,47E-10	0,031	0,050	1,53E-09	0,012	0,053	6,54E-10

[C4] Dimensões dos Provetes de Tração com Café

Tabela 16 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de tração.

	95% PMMA + 5% café			71,25% PMMA + 23,75% PET + 5% café			47,5% PMMA + 47,5% PET + 5% café			23,75% PMMA + 71,25% PET + 5% café			95% PET + 5% café		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	4,01	10,37	4,16E-05	3,99	10,24	4,09E-05	3,97	10,35	4,11E-05	3,98	10,30	4,10E-05	4,00	10,32	4,13E-05
2	4,02	10,32	4,15E-05	4,00	10,28	4,11E-05	3,98	10,34	4,12E-05	3,97	10,37	4,12E-05	3,99	10,31	4,11E-05
3	4,02	10,27	4,13E-05	3,99	10,27	4,10E-05	3,98	10,32	4,11E-05	3,96	10,35	4,10E-05	4,00	10,28	4,11E-05
4	4,02	10,44	4,20E-05	3,99	10,25	4,09E-05	3,98	10,37	4,13E-05	3,97	10,42	4,14E-05	4,01	10,32	4,14E-05
5	4,02	10,35	4,16E-05	3,98	10,27	4,09E-05	3,98	10,38	4,13E-05	3,97	10,30	4,09E-05	4,01	10,35	4,15E-05
6	4,01	10,34	4,15E-05	4,01	10,27	4,12E-05	3,98	10,30	4,10E-05	3,96	10,37	4,11E-05	3,96	10,29	4,07E-05
7	4,02	10,35	4,16E-05	4,00	10,28	4,11E-05	3,98	10,39	4,14E-05	3,98	10,36	4,12E-05	3,96	10,35	4,10E-05
8	4,00	10,34	4,14E-05	4,01	10,27	4,12E-05	3,97	10,31	4,09E-05	3,98	10,31	4,10E-05	4,01	10,31	4,13E-05
9	4,02	10,30	4,14E-05	4,01	10,30	4,13E-05	3,95	10,34	4,08E-05	3,99	10,35	4,13E-05	4,01	10,32	4,14E-05
10	4,01	10,35	4,15E-05	4,00	10,27	4,11E-05	3,97	10,33	4,10E-05	3,98	10,32	4,11E-05	3,99	10,30	4,11E-05
Média	4,015	10,34	4,15E-05	3,998	10,27	4,11E-05	3,974	10,34	4,11E-05	3,974	10,35	4,11E-05	3,994	10,32	4,12E-05
Desvio Padrão	0,007	0,045	3,16E-10	0,010	0,016	1,69E-10	0,010	0,030	2,88E-10	0,010	0,038	3,68E-10	0,020	0,023	4,44E-10

Tabela 17 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de PMMA e de PETg e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de tração.

	60% PMMA + 40% café			45% PMMA + 15% PET + 40% café			30% PMMA + 30% PET + 40% café			15% PMMA + 45% PET + 40% café			60% PET + 40% café		
Proвете	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	4,05	10,30	4,17E-05	3,99	10,38	4,14E-05	3,99	10,34	4,13E-05	4,04	10,27	4,15E-05	4,03	10,24	4,13E-05
2	4,05	10,32	4,18E-05	4,01	10,35	4,15E-05	4,01	10,33	4,14E-05	3,98	10,25	4,08E-05	3,95	10,27	4,06E-05
3	4,01	10,37	4,16E-05	3,99	10,41	4,15E-05	3,96	10,34	4,09E-05	3,96	10,28	4,07E-05	4,04	10,35	4,18E-05
4	4,00	10,29	4,12E-05	3,98	10,34	4,12E-05	4,00	10,27	4,11E-05	3,99	10,37	4,14E-05	4,01	10,33	4,14E-05
5	4,02	10,39	4,18E-05	4,01	10,32	4,14E-05	3,96	10,35	4,10E-05	3,97	10,32	4,10E-05	4,03	10,39	4,19E-05
6	4,05	10,35	4,19E-05	4,01	10,46	4,19E-05	4,02	10,26	4,12E-05	4,00	10,26	4,10E-05	3,99	10,29	4,11E-05
7	4,01	10,37	4,16E-05	3,99	10,35	4,13E-05	4,00	10,31	4,12E-05	4,02	10,30	4,14E-05	4,00	10,26	4,10E-05
8	4,02	10,39	4,18E-05	3,98	10,33	4,11E-05	4,04	10,25	4,14E-05	3,99	10,25	4,09E-05	3,99	10,26	4,09E-05
9	4,05	10,29	4,17E-05	4,01	10,37	4,16E-05	3,98	10,28	4,09E-05	3,97	10,28	4,08E-05	4,06	10,30	4,18E-05
10	4,00	10,31	4,12E-05	3,99	10,35	4,13E-05	3,98	10,31	4,10E-05	4,02	10,31	4,14E-05	4,07	10,39	4,23E-05
Média	4,026	10,34	4,16E-05	3,996	10,37	4,14E-05	3,994	10,30	4,12E-05	3,994	10,29	4,11E-05	4,017	10,31	4,14E-05
Desvio Padrão	0,022	0,041	8,79E-10	0,013	0,042	5,31E-10	0,026	0,037	9,32E-10	0,026	0,037	9,65E-10	0,036	0,055	1,98E-09

Tabela 18 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 5% de café, para os ensaios de tração.

	95% F29 + 5% café			71,25% F29 + 23,75% F10 + 5% café			47,5% F29 + 47,5% F10 + 5% café			23,75% F29 + 71,25% F10 + 5% café			95% F10 + 5% café		
Provette	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,96	10,26	4,06E-05	4,00	10,40	4,16E-05	3,94	10,17	4,01E-05	3,90	10,09	3,94E-05	3,93	10,00	3,93E-05
2	4,00	10,22	4,09E-05	4,00	10,36	4,14E-05	3,90	10,11	3,94E-05	3,97	9,98	3,96E-05	3,85	9,98	3,84E-05
3	4,02	10,21	4,10E-05	4,02	10,34	4,16E-05	3,90	10,10	3,94E-05	3,98	10,05	4,00E-05	3,89	10,06	3,91E-05
4	4,02	10,20	4,10E-05	3,99	10,33	4,12E-05	3,96	10,10	4,00E-05	3,90	10,01	3,90E-05	3,91	10,04	3,93E-05
5	3,95	10,14	4,01E-05	4,01	10,27	4,12E-05	3,96	10,10	4,00E-05	3,99	10,07	4,02E-05	3,87	9,98	3,86E-05
6	3,90	10,14	3,95E-05	3,97	10,35	4,11E-05	3,96	10,14	4,02E-05	3,98	10,03	3,99E-05	3,91	9,99	3,91E-05
7	3,99	10,13	4,04E-05	4,01	10,35	4,15E-05	3,96	10,10	4,00E-05	3,99	10,02	4,00E-05	3,91	9,95	3,89E-05
8	4,01	10,20	4,09E-05	4,01	10,35	4,15E-05	3,99	10,10	4,03E-05	3,97	10,04	3,99E-05	3,91	10,00	3,91E-05
9	3,97	10,26	4,07E-05	4,01	10,25	4,11E-05	3,91	10,06	3,93E-05	3,90	10,00	3,90E-05	3,91	10,03	3,92E-05
10	4,00	10,17	4,07E-05	4,00	10,28	4,11E-05	3,96	10,18	4,03E-05	3,96	10,02	3,97E-05	3,91	10,00	3,91E-05
Média	3,982	10,19	4,06E-05	4,002	10,33	4,13E-05	3,944	10,12	3,99E-05	3,954	10,03	3,97E-05	3,90	10,00	3,90E-05
Desvio Padrão	0,038	0,047	1,78E-09	0,014	0,047	6,52E-10	0,031	0,037	1,12E-09	0,038	0,033	1,26E-09	0,024	0,032	7,62E-10

Tabela 19 – Valores de espessura e largura, em mm, e área transversal, em m², dos provetes de F29 e de F10 e das suas misturas com 40% de café, para os ensaios de tração.

	60% F29 + 40% café			45% F29 + 15% F10 + 40% café			30% F29 + 30% F10 + 40% café			15% F29 + 45% F10 + 40% café			60% F10 + 40% café		
Provette	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A	E	L	A
1	3,93	10,17	4,00E-05	3,90	10,16	3,96E-05	3,88	10,04	3,90E-05	3,90	10,21	3,98E-05	3,89	10,16	3,95E-05
2	4,00	10,16	4,06E-05	3,93	10,15	3,99E-05	3,94	10,07	3,97E-05	3,91	10,24	4,00E-05	3,92	10,17	3,99E-05
3	3,97	10,12	4,02E-05	3,93	10,13	3,98E-05	3,92	10,10	3,96E-05	3,97	10,23	4,06E-05	3,95	10,13	4,00E-05
4	3,95	10,15	4,01E-05	3,96	10,15	4,02E-05	3,87	10,06	3,89E-05	3,93	10,23	4,02E-05	3,90	10,08	3,93E-05
5	3,96	10,16	4,02E-05	3,96	10,10	4,00E-05	3,96	10,06	3,98E-05	3,93	10,23	4,02E-05	3,94	10,10	3,98E-05
6	3,97	10,13	4,02E-05	3,99	10,15	4,05E-05	3,90	10,08	3,93E-05	3,97	10,26	4,07E-05	3,97	10,18	4,04E-05
7	3,97	10,20	4,05E-05	3,91	10,07	3,94E-05	3,90	10,07	3,93E-05	3,95	10,25	4,05E-05	3,95	10,21	4,03E-05
8	4,00	10,15	4,06E-05	3,98	10,11	4,02E-05	3,90	10,02	3,91E-05	3,96	10,23	4,05E-05	3,97	10,18	4,04E-05
9	3,93	10,16	3,99E-05	3,91	10,10	3,95E-05	3,93	10,03	3,94E-05	4,00	10,18	4,07E-05	3,91	10,23	4,00E-05
10	3,91	10,17	3,98E-05	3,95	10,14	4,01E-05	3,89	10,09	3,93E-05	3,94	10,22	4,03E-05	3,91	10,16	3,97E-05
Média	3,959	10,16	4,02E-05	3,942	10,13	3,99E-05	3,909	10,06	3,93E-05	3,946	10,23	4,04E-05	3,931	10,16	3,99E-05
Desvio Padrão	0,030	0,022	6,55E-10	0,031	0,030	9,10E-10	0,028	0,026	7,22E-10	0,030	0,022	6,66E-10	0,029	0,046	1,33E-09

[C5] Massa das Amostras para o Ensaio de DSC**Tabela 20** – Valores da massa, em mg, das amostras utilizadas para os ensaios de DSC.

Materiais	Peso da Amostra [mg]
F29	12,274
F10	12,379
PMMA	11,916
PETg	18,484
ABS	12,198
75% F29 + 25% F10	13,579
50% F29 + 50% F10	14,808
25% F29 + 75% F10	11,540
75% PMMA + 25% PETg	12,049
50% PMMA + 50% PETg	12,651
25% PMMA + 75% PETg	12,385
75% PMMA + 25% ABS	15,518
50% PMMA + 50% ABS	11,665
25% PMMA + 75% ABS	13,276
75% PETg + 25% ABS	13,056
50% PETg + 50% ABS	12,165
25% PETg + 75% PETg	13,994

[Anexo D] Gráficos

[D1] Impacto

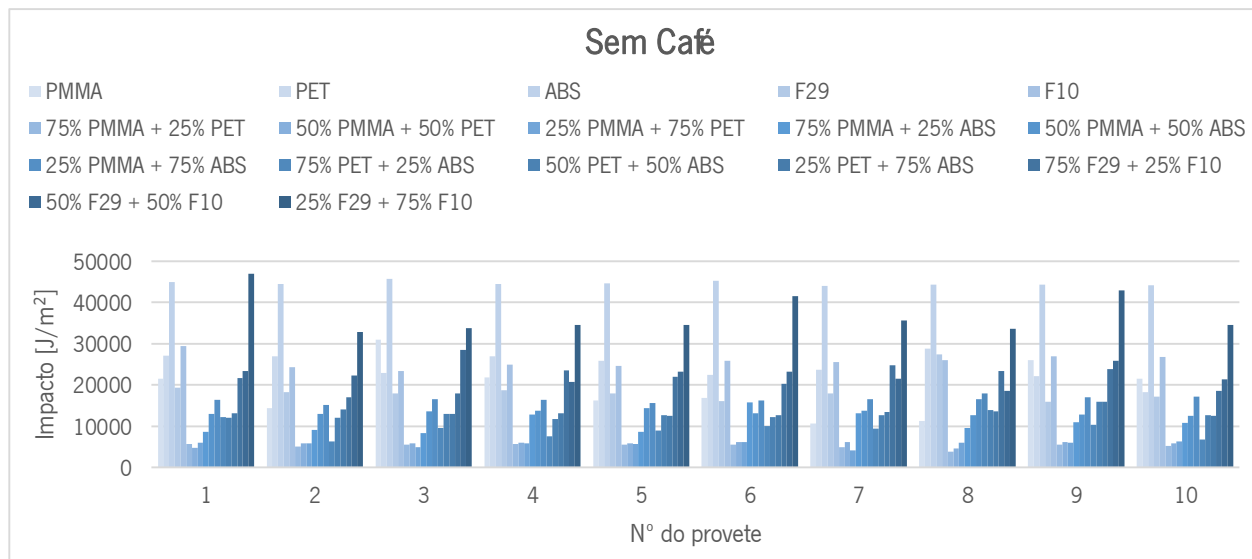


Figura 89 – Valores individuais de resistência ao impacto, em J/m^2 , dos 170 provetes ensaiados, sem café.

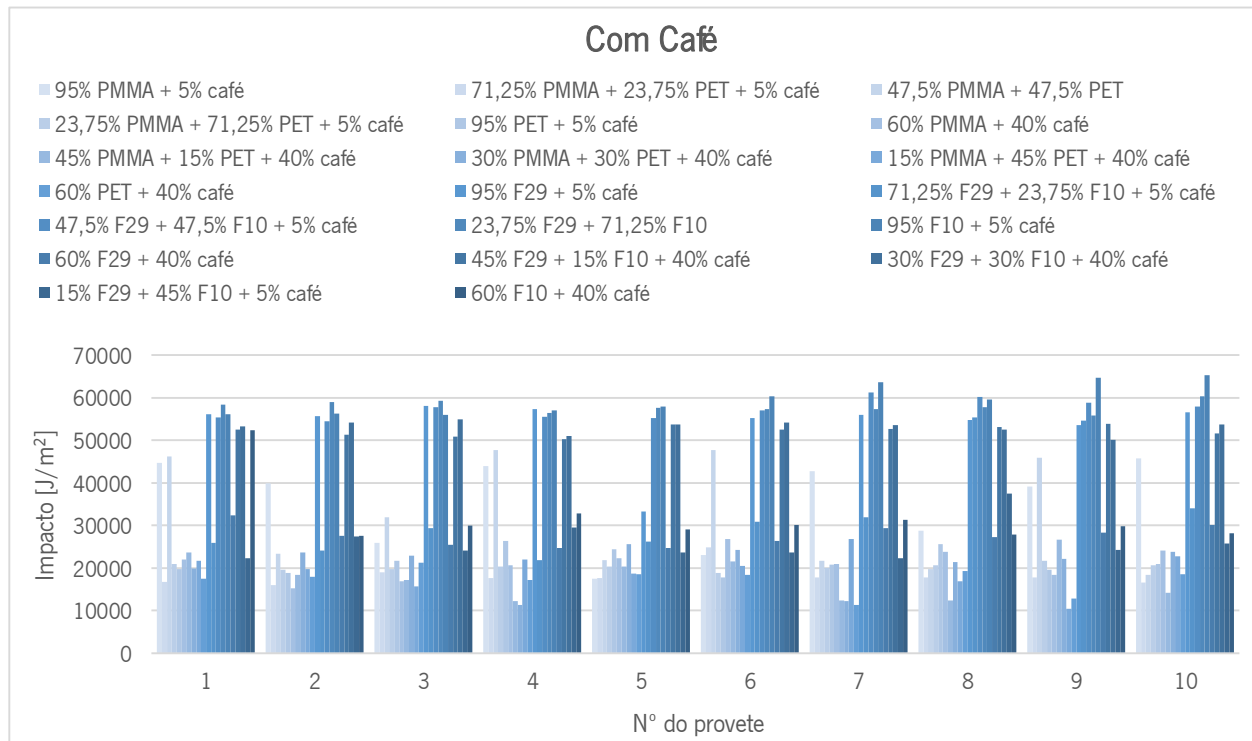


Figura 90 – Valores individuais de resistência ao impacto, em J/m^2 , dos 200 provetes ensaiados, com café.

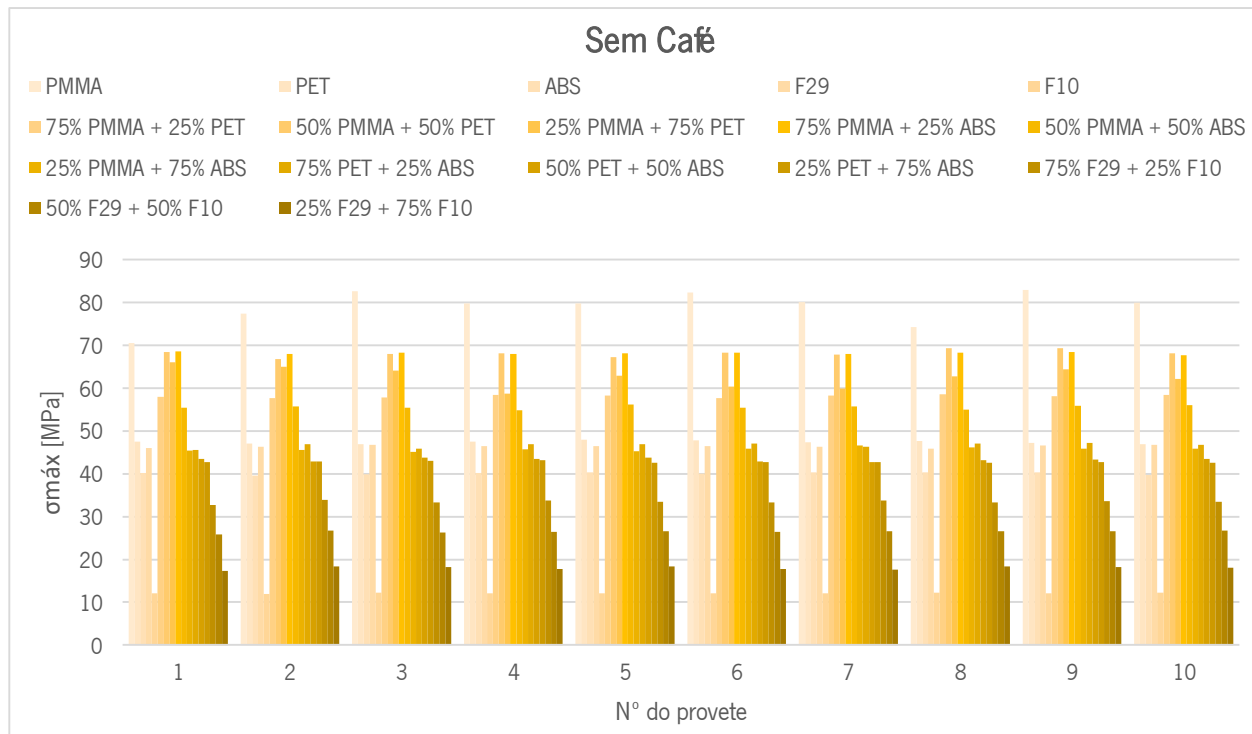
[D2] Tensão Máxima

Figura 91 – Valores individuais de tensão máxima, em MPa, dos 170 provetes ensaiados, sem café.

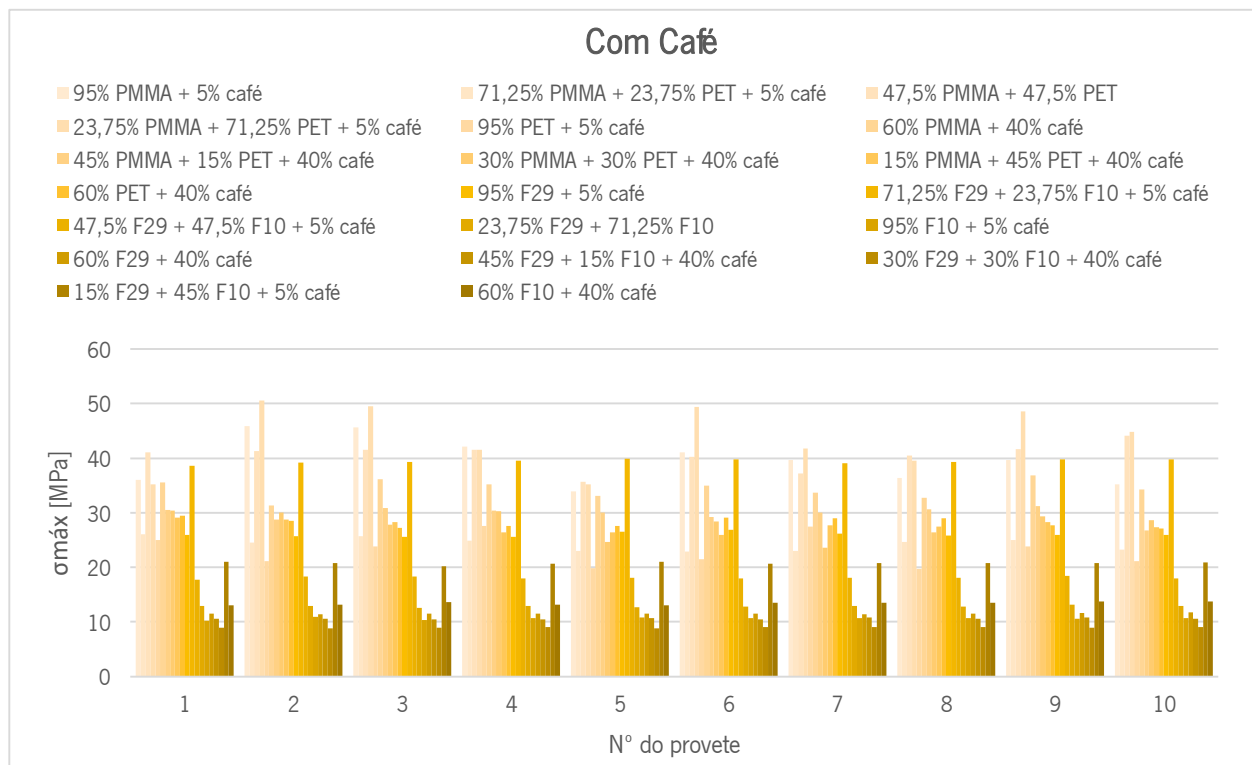


Figura 92 – Valores individuais de tensão máxima, em MPa, dos 200 provetes ensaiados, com café.

[D3] Módulo de Elasticidade

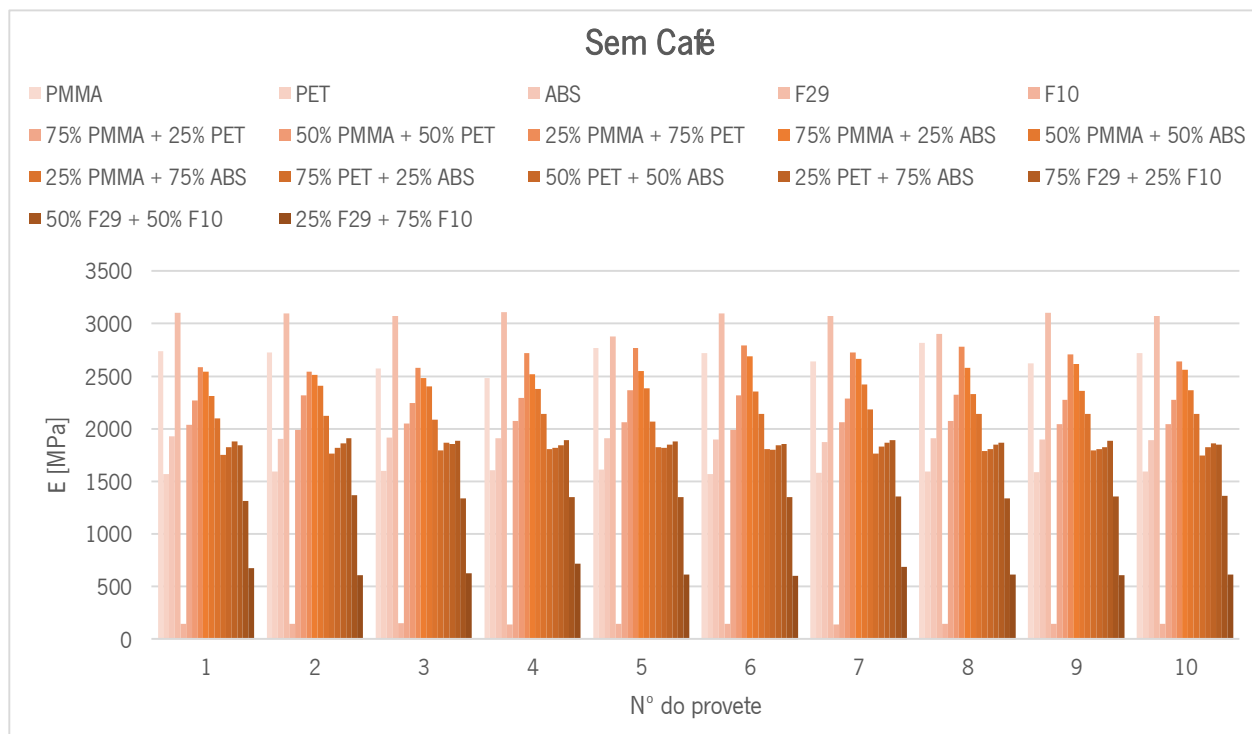


Figura 93 – Valores individuais do módulo de elasticidade, em MPa, dos 170 provetes ensaiados, sem café.

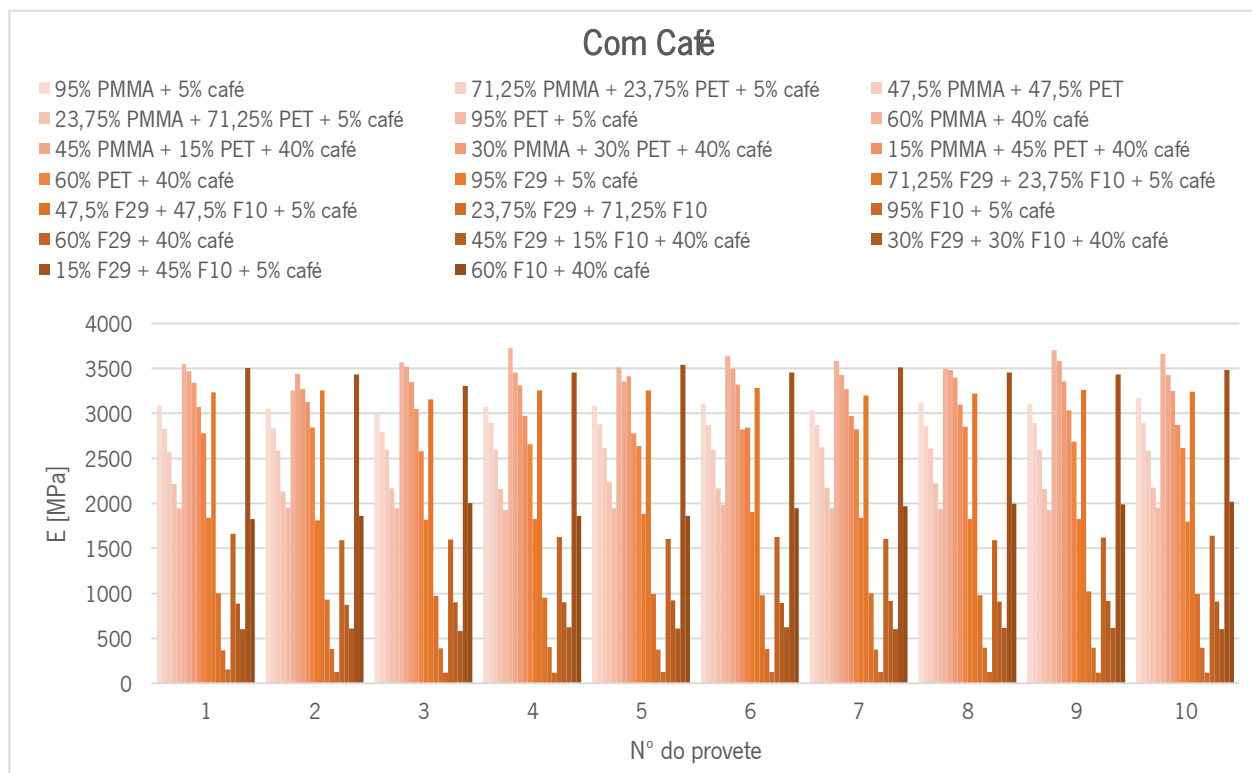


Figura 94 – Valores individuais do módulo de elasticidade, em MPa, dos 200 provetes ensaiados, com café.

[D4] Deformação à Rotura

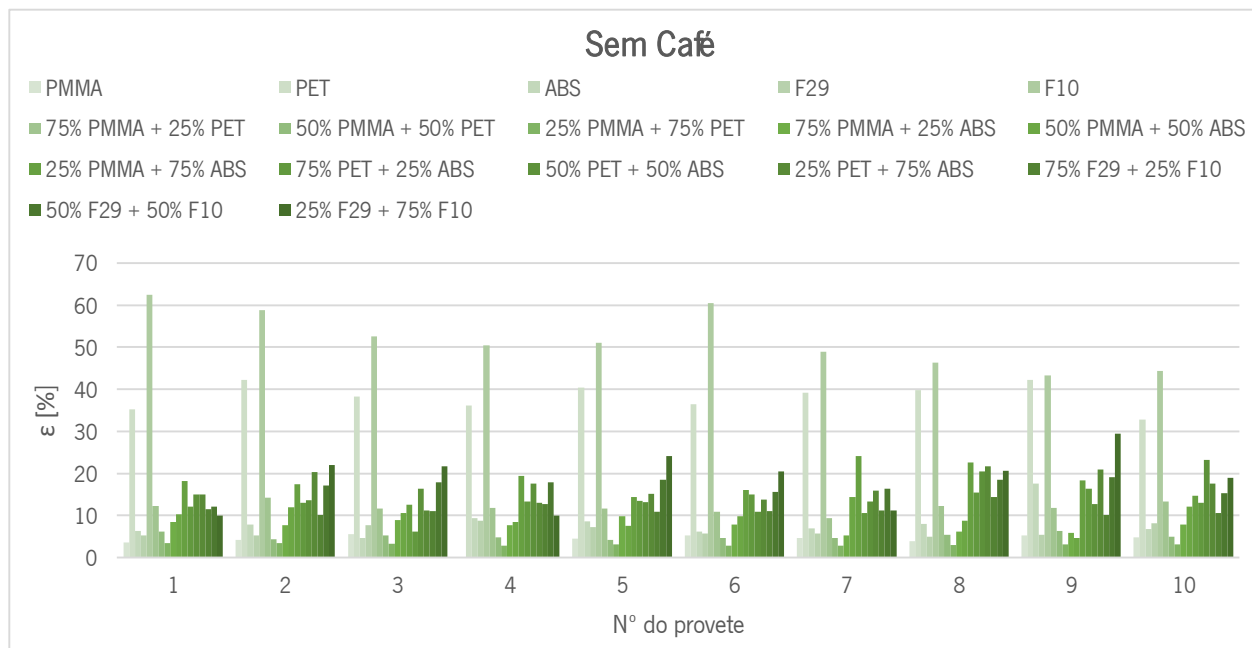


Figura 95 – Valores individuais da deformação à rotura, em percentagem, dos 170 provetes ensaiados, sem café.

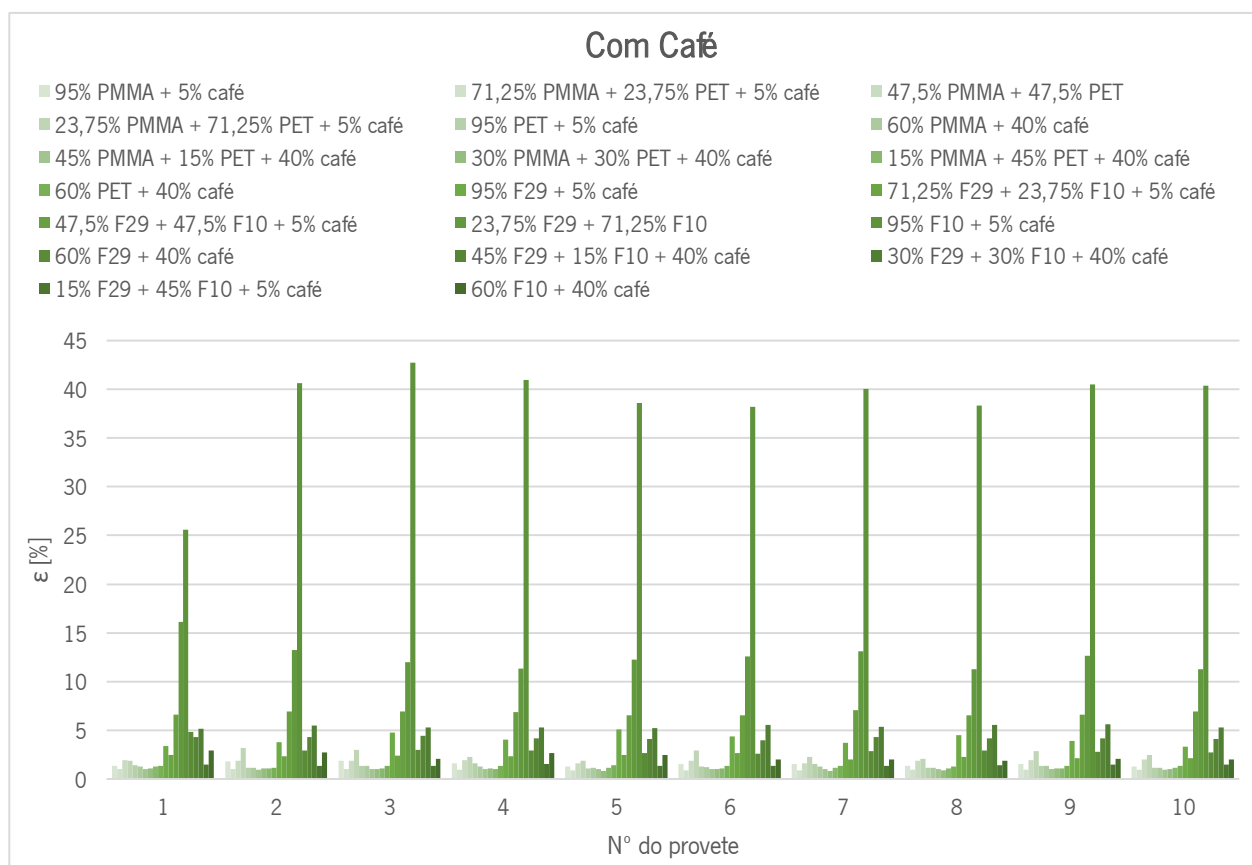


Figura 96 – Valores individuais da deformação à rotura, em percentagem, dos 200 provetes ensaiados, com café.

[Anexo E] DSC

[E1] PMMA vs PET

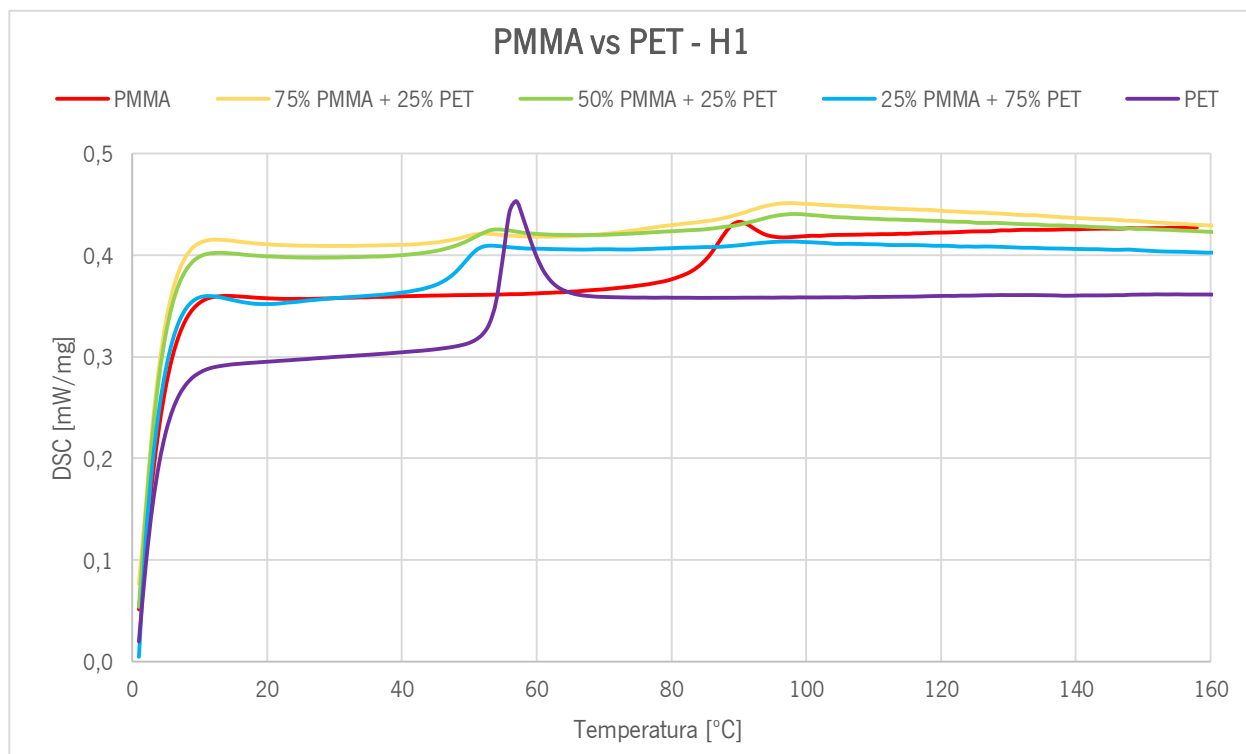


Figura 97 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do PMMA, do PET e das suas misturas.

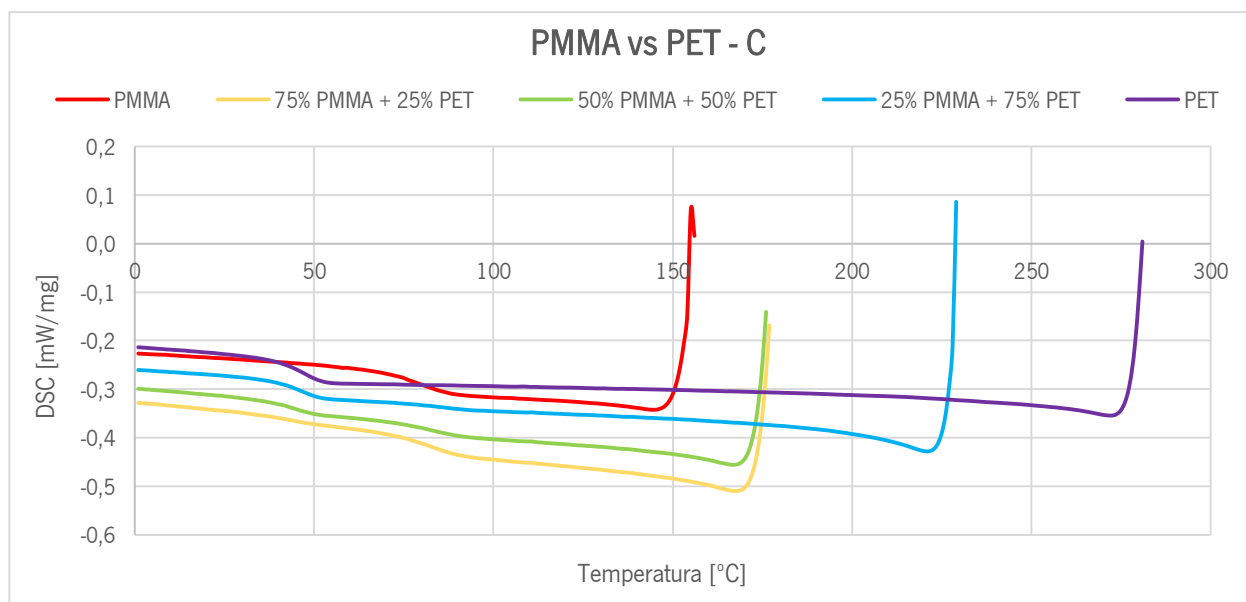


Figura 98 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do PMMA, do PET e das suas misturas.

[E2] PMMA vs ABS

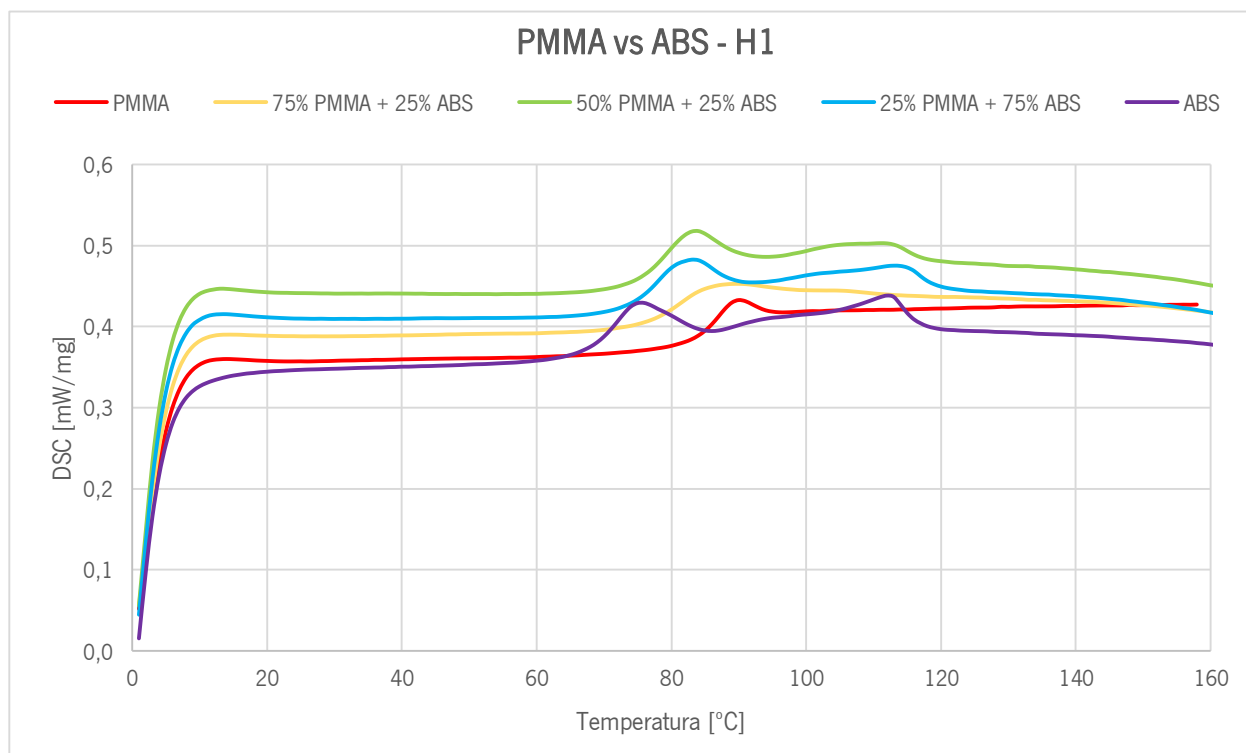


Figura 99 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do PMMA, do ABS e das suas misturas.

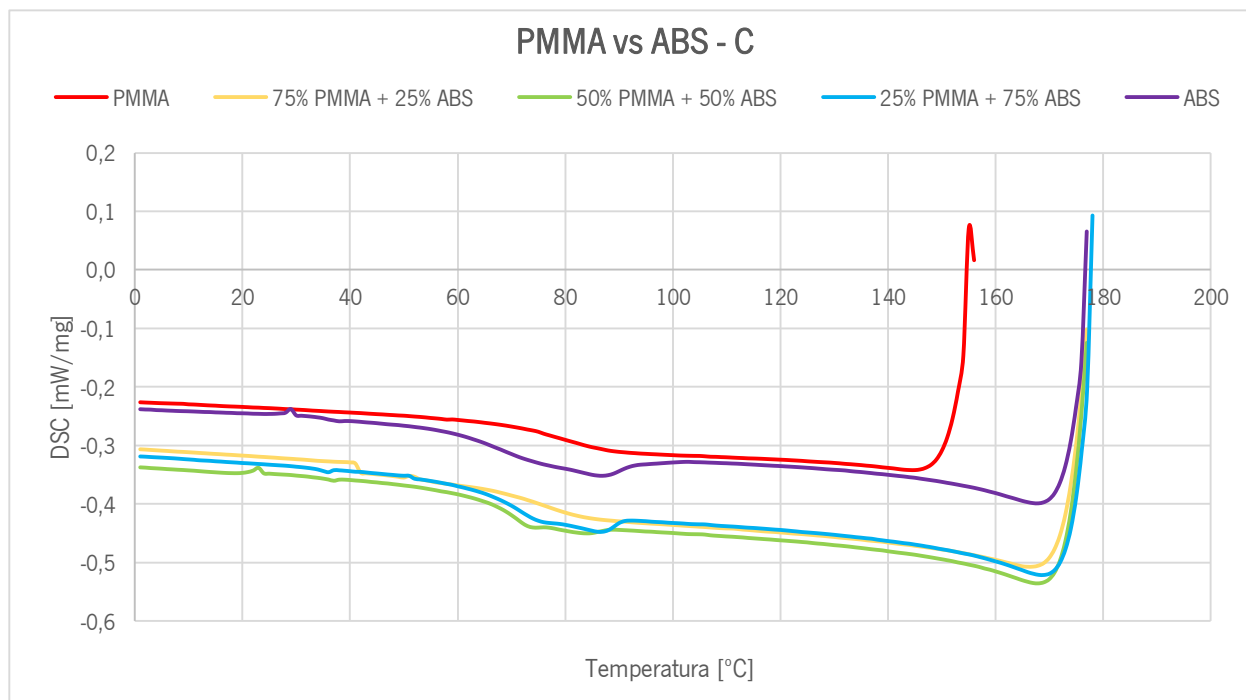


Figura 100 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do PMMA, do ABS e das suas misturas.

[E3] PET vs ABS

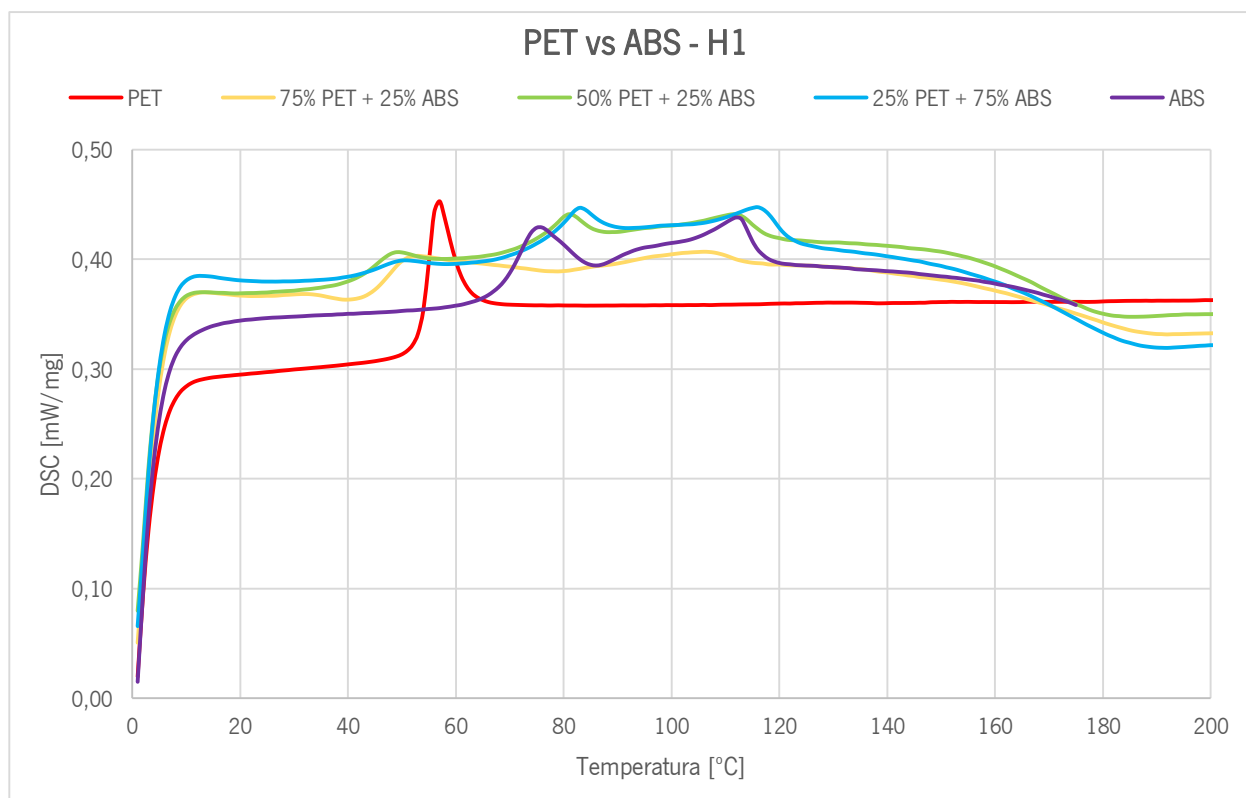


Figura 101 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do PET, do ABS e das suas misturas.

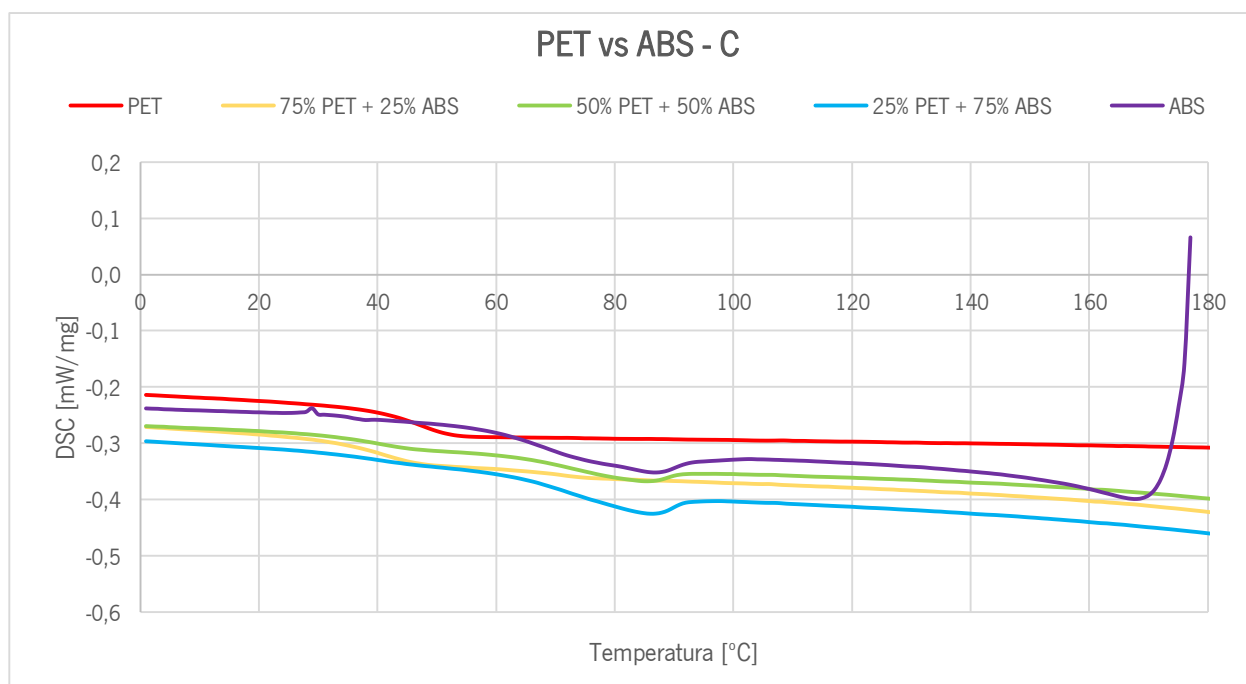


Figura 102 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do PET, do ABS e das suas misturas.

[E4] F29 vs F10

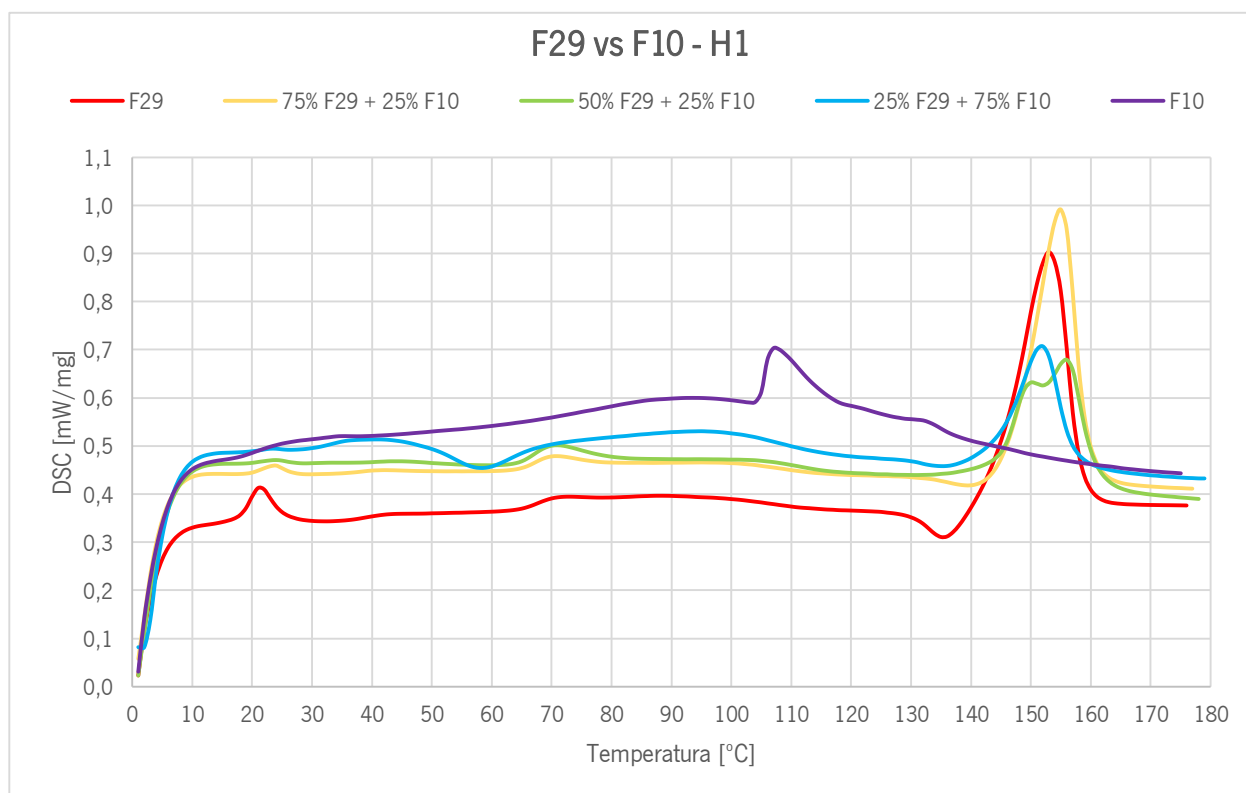


Figura 103 – DSC, em mW/mg, correspondente ao 1º aquecimento do F29, do F10 e das suas misturas.

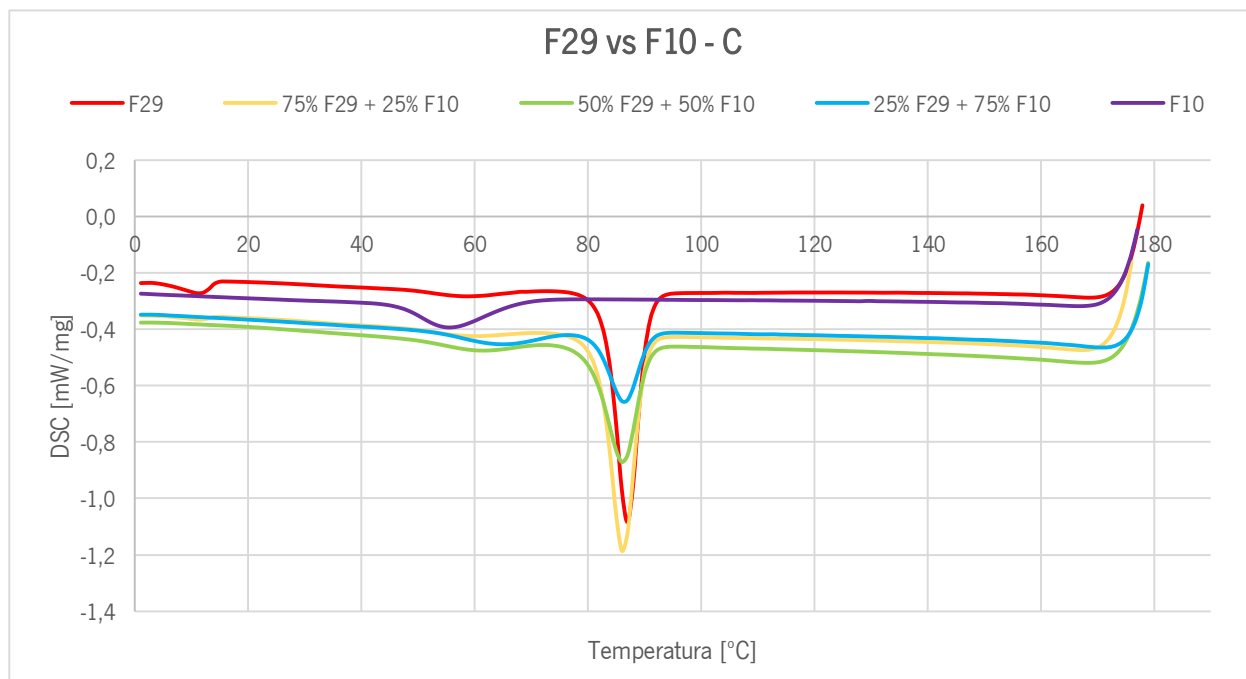


Figura 104 – DSC, em mW/mg, correspondente ao arrefecimento do F29, do F10 e das suas misturas.